

**Biotechnisch erzeugte D-Milchsäure -
Substitution von Hefeextrakt durch agrarische Rohstoffhydrolysate**

Von der Fakultät für Lebenswissenschaften
der Technischen Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig
zur Erlangung des Grades
einer Doktorin der Naturwissenschaften
(Dr. rer. nat.)
genehmigte
D i s s e r t a t i o n

von Silvia Klotz
aus Hildesheim

1. Referent:

2. Referent:

eingereicht am:

mündliche Prüfung (Disputation) am:

Prof. Dr. Klaus-Dieter Vorlop

Prof. Dr. Uwe Schröder

14.11.2016

10.02.2017

Druckjahr 2017

Vorveröffentlichungen der Dissertation

Teilergebnisse aus dieser Arbeit wurden mit Genehmigung der Fakultät für Lebenswissenschaften, vertreten durch den Mentor der Arbeit, in folgenden Beiträgen vorab veröffentlicht:

Tagungsbeiträge

Klotz, S., Kaufmann, N., Kuenz, A., Vorlop, K.-D.: Biotechnological production of D-lactic acid – Specific supplementation and process optimization. (Poster) 11th International Symposium on Lactic Acid Bacteria, Egmond aan Zee (2014).

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung und Zielsetzung	11
2.	Theoretische Grundlagen	13
2.1	Milchsäure.....	13
2.1.1	Historischer Hintergrund.....	13
2.1.2	Herstellung	13
2.1.3	Anwendungen	15
2.2	Polylactide.....	16
2.3	Biotechnologische Lactatproduktion	18
2.3.1	Mikroorganismen	18
2.3.2	Kohlenhydrat-Metabolismus in Milchsäurebakterien.....	19
2.3.3	Nährstoffanforderungen von Milchsäurebakterien	22
2.3.3.1	Aminosäuren und Peptide	22
2.3.3.2	Vitamine.....	24
2.4	Hefeextrakt und alternative Nährstoffquellen	25
2.5	Einsatz alternativer Kohlenstoff- und Nährstoffquellen für die Lactatproduktion	25
3.	Material und Methoden	28
3.1	Nährstoffquellen.....	28
3.1.1	Hefeextrakte	28
3.1.2	Kommerziell erhältliche Hefeextraktersatzstoffe	29
3.1.3	Chemisch hergestellte Rohstoffhydrolysate.....	30
3.1.4	Eingesetzte Konzentrationen der Nährstoffquellen im Fermentationsmedium	30
3.2	Hydrolysemethoden	33
3.2.1	Milde chemische Hydrolyse.....	33
3.2.2	Chemische Vollhydrolyse	33
3.2.3	Enzymatische Hydrolyse.....	34

3.3	Kultivierungen.....	34
3.3.1	Allgemeine Arbeitsweise	34
3.3.2	Mikroorganismen und Stammhaltung.....	35
3.3.3	Herstellung von Kryostockkulturen	35
3.3.4	Herstellung der Vorkulturen	35
3.3.5	Medien und Kultivierungsbedingungen	36
3.3.6	Probennahme.....	37
3.3.7	Variation der Nährstoffquelle	37
3.3.8	Bestimmung der Einflussfaktoren auf die Produktivität durch Supplementierung verschiedener Stoffklassen.....	38
3.3.9	Fed-Batch mit Zugabe der metabolisierten Aminosäuren	39
3.3.10	Vollsynthetisches Medium.....	40
3.3.11	Bestimmung des Einflusses der Einzelkomponenten in 96-Deepwell- Mikrotiterplatten	40
3.3.12	Einsatz der Rohstoffe ohne Vorbehandlung als Nährstoffquelle	42
3.3.13	Einsatz der enzymatischen Hydrolysate und Vollhydrolysate als Nährstoffquelle ...	42
3.3.14	Simultane Hydrolyse und Fermentation von Rapsschrot.....	43
3.3.15	Optimierte D-Lactat Produktion mit Rapsschrot im Fed-Batch-Versuch.....	43
3.4	Analytische Methoden	44
3.4.1	Bestimmung der Trockenmasse und des Aschegehalts	44
3.4.2	Bestimmung des Gesamtstickstoffgehalts nach Kjeldahl	44
3.4.3	Kohlenhydratanalytik.....	45
3.4.3.1	Bestimmung des Gesamtkohlenhydratgehalts	45
3.4.3.2	Bestimmung des Gehalts an reduzierenden Zuckern	46
3.4.3.3	Bestimmung der Kohlenhydrate nach der NREL-Methode.....	47
3.4.4	Protein- und Aminosäureanalytik	47
3.4.4.1	Bestimmung des freien Aminostickstoffgehalts	47
3.4.4.2	Totalhydrolyse der Proteine	48

3.4.4.3	Bestimmung der freien Aminosäuren	48
3.4.5	Bestimmung der Fettsäuren.....	49
3.4.6	Bestimmung der B-Vitamine	50
3.4.7	Bestimmung der Polyphenole	50
3.4.7.1	Bestimmung des Gesamtphenolgehalts nach MEBAK.....	50
3.4.7.2	Bestimmung der Gesamtpolyphenole nach Folin-Ciocalteu.....	51
3.4.7.3	Bestimmung der Flavonoide	51
3.5	Instrumentelle Analytik.....	52
3.5.1	Allgemeine Arbeitsweise	52
3.5.2	HPLC-RI-UV/Vis	52
3.5.3	Chirale HPLC-RI-UV/Vis.....	54
3.5.4	HPAEC-PAD	55
3.5.5	GC-FID	56
3.5.6	GC-MS	57
3.5.7	IC.....	58
3.5.8	ICP-OES.....	59
3.5.8.1	Probenvorbereitung mittels Mikrowellenaufschluss.....	59
3.5.8.2	Bestimmung der Spurenelemente mit ICP-OES	60
3.5.9	UV/Vis-Spektroskopie	61
3.6	Datenauswertung.....	62
3.7	Multivariate statistische Auswertung der Analysenergebnisse.....	63
3.7.1	Clusteranalyse	63
3.7.2	Partial Least Squares-Regression.....	64
4	Ergebnisse und Diskussion	66
4.1	Zusammensetzung der Hefeextrakte und der alternativen Nährstoffquellen	66
4.2	Kultivierung und Lactatproduktion von <i>Sporolactobacillus putidus</i>	68
4.2.1	Optimierung der Startkonzentrationen von Glucose und Hefeextrakt.....	70
4.2.2	Variation der Nährstoffquellen	71

4.3	Kultivierung und Lactatproduktion von <i>Sporolactobacillus inulinus</i>	73
4.3.1	Optimierung der Startkonzentrationen von Glucose und Hefeextrakt.....	75
4.3.2	Variation der Nährstoffquellen	76
4.4	Multivariate statistische Betrachtung der Analysenergebnisse.....	79
4.4.1	Clusteranalyse	79
4.4.2	Partial Least Squares-Regression.....	81
4.5	Nährstoffanforderungen von <i>Sporolactobacillus inulinus</i>	82
4.5.1	Einfluss von Hefeextrakt und daraus entstehende Limitierungen.....	83
4.5.1.1	Verwertbarkeit der Salze und Spurenelemente	83
4.5.1.2	Metabolisierung der Aminosäuren.....	84
4.5.1.3	Fed-Batch mit Zugabe der metabolisierten Aminosäuren	85
4.5.1.4	Abbau der Proteine und Peptide.....	89
4.5.2	Einflussfaktoren auf die Produktivität	91
4.5.3	Einfluss der Einzelkomponenten	94
4.5.3.1	Aminosäuren	95
4.5.3.2	Vitamine.....	96
4.5.3.3	Salze und Spurenelemente	97
4.5.3.4	Nukleobasen, Nukleoside und Nukleotide	98
4.5.4	Fazit.....	99
4.6	Einfluss der Hydrolyse der Nährstoffquelle auf die Lactatproduktion von <i>Sporolactobacillus inulinus</i>	101
4.6.1	Einsatz chemischer Vollhydrolysate als Nährstoffquellen	101
4.6.2	Einsatz enzymatischer Hydrolysate am Beispiel von Rapsschrot.....	105
4.7	Optimierte D-Lactat Produktion von <i>Sporolactobacillus inulinus</i> mit alternativen Nährstoffquellen.....	109
4.7.1	Optimierte D-Lactat Produktion von <i>Sporolactobacillus inulinus</i> am Beispiel von Rapsschrot.....	109
4.7.2	Einfluss der Nährstoffquelle auf die optische Reinheit des D-Lactats	111

4.8	Abschätzung der Hydrolysekosten.....	112
5	Zusammenfassung und Ausblick	116
	Literaturverzeichnis.....	120
	Anhang	134

1. Einleitung und Zielsetzung

Der weltweit hohe Kunststoffverbrauch (299 Mio. t im Jahr 2013)^[1] sowie knapper werdende Erdölressourcen und ein wachsendes Umweltbewusstsein führten in den vergangenen Jahren zu einem starken Marktwachstum für biobasierte Kunststoffe.^[2] Bis 2019 sollen die weltweiten Produktionskapazitäten für Biokunststoffe von 1,7 Mio. t im Jahr 2014 auf 7,8 Mio. t steigen.^[3] Eine der vielversprechendsten Alternativen zu erdölbasierten Kunststoffen stellen Polylactide (PLA) dar, die nicht nur biobasiert, sondern auch bioabbaubar sind. Insbesondere der kristalline Stereokomplex (scPLA, stereocomplex PLA) aus Poly-L-lactiden (PLLA) und Poly-D-lactiden (PDLA) ist von großem Interesse, da sein Schmelzpunkt mit 230 °C um 50 °C höher liegt, als der Schmelzpunkt der Reinformen PLLA und PDLA.^[4] Durch die verbesserten Eigenschaften von scPLA eröffnen sich, neben der bisherigen Anwendung als Verpackungsmaterial, zahlreiche weitere Anwendungsmöglichkeiten, z.B. für Beschichtungen oder für Interieurkomponenten in der Automobilindustrie.^[5]

Die jährliche weltweite Lactatproduktion lag im Jahr 2011 bei über 300.000 t, wobei der Markt für Milchsäure in Europa ein durchschnittliches jährliches Wachstum von über 8 % verzeichnete.^{[6],[7]} Für das Jahr 2015 wurde der weltweite Milchsäurebedarf bereits auf 472.000 t geschätzt.^[8] Bisher konzentriert sich die industrielle Produktion hauptsächlich auf L-Lactat, gewonnen durch Fermentation von Kohlenhydraten.^{[3],[9]} Da enantiomerenreines D-Lactat für die Produktion von scPLA benötigt wird, ist derzeit das Interesse an einem kostengünstigen, effizienten Verfahren zur D-Lactat Herstellung groß.

Nur wenige Stämme, meist Milchsäurebakterien mit komplexen Nährstoffanforderungen, sind in der Lage, enantiomerenreines D-Lactat mit hoher Ausbeute zu produzieren.^{[10],[11],[12]} Um diese Nährstoffanforderungen zu erfüllen wird in einer Vielzahl biotechnologischer Prozesse Hefeextrakt als Nährstoffquelle eingesetzt. Mit einem Preis von 6 – 10 €/kg stellt dieser in der industriellen Lactatproduktion einen bedeutenden Kostenfaktor dar.^[13] Daher werden stets kostengünstige alternative Nährstoffquellen gesucht, mit denen hohe Produktausbeuten und hohe Produktivitäten erzielt werden können.

Das Ziel dieser Arbeit ist es, den Einfluss der Nährstoffquelle auf die D-Lactatproduktion von *Sporolactobacillus inulinus* und *Sporolactobacillus putidus* zu untersuchen. Da die Zusammensetzung von Hefeextrakt je nach verwendetem Hefestamm und Herstellungsver-

fahren variiert und somit das Wachstum der Mikroorganismen und deren Metabolitenproduktion beeinflusst wird, sollen die Zusammensetzungen verschiedener Hefeextrakte und alternativer Nährstoffquellen analysiert werden. Mithilfe einer Cluster- und Partial Least Squares-Analyse sollen Zusammenhänge zwischen Zusammensetzung und Produktivität der beiden Stämme ermittelt werden. Am Beispiel von *S. inulinus* sollen die Nährstoffanforderungen schließlich detailliert aufgeklärt werden. Diese Erkenntnisse sollen dazu beitragen, Limitierungen zu verhindern und günstige alternative Nährstoffquellen anstelle von Hefeextrakt für *S. inulinus* nutzbar zu machen, ohne dabei eine Abnahme der Lactatproduktion zu verzeichnen.

2. Theoretische Grundlagen

2.1 Milchsäure

2.1.1 Historischer Hintergrund

Milchsäure wurde erstmals im Jahre 1780 von dem schwedischen Chemiker Carl Wilhelm Scheele durch Präzipitation mit Calciumsalzen aus saurer Milch isoliert. Er nahm damals an, Milchsäure sei ein Bestandteil von Milch.^[14] 1813 erhielt Henri Braconnot durch Fermentation von Reis eine Säure, die er „acide nanceique“ nannte.^[15] Dass es sich dabei ebenfalls um Milchsäure handelte, wurde 1817 von Heinrich August von Vogel nachgewiesen.^[16] Die Ursache der Milchsäuregärung blieb aber zunächst unbekannt bis Louis Pasteur 1857 die Beteiligung von Mikroorganismen an der Milchsäuregärung entdeckte. Er beschrieb eine „Milchsäure-Hefe“, die, analog zur Bierhefe, in einem Gärungsprozess Milchsäure produziert.^[17] 1860 trugen Charles Adolphe Wurtz und Charles Friedel mit der Synthese von Milchsäure in einer Substitutionsreaktion von 2-Chlorpropionsäure zur Strukturaufklärung der Milchsäure bei.^[18] Die erste industrielle Herstellung von Milchsäure begann 1881 in den USA mit der Avery Lactate Company.^[19] In Deutschland wurde Milchsäure in industriellem Maßstab ab 1895 von der damaligen C. H. Boehringer Sohn produziert und erfolgreich vermarktet.^[20]

2.1.2 Herstellung

Im Jahr 2011 wurde die weltweite Milchsäureproduktion auf über 300 Kilotonnen pro Jahr (ktpa, kilotons per annum) geschätzt.^[6] Milchsäure kann großtechnisch auf zwei Arten hergestellt werden: durch chemische Synthese oder durch Fermentation von Kohlenhydraten. Der gängigste chemische Syntheseweg basiert auf Acetaldehyd, das mit Cyanwasserstoff Lactonitril bildet, welches anschließend in einer sauren Hydrolyse zu Milchsäure umgesetzt wird (Abb. 2.1).^[21] Aufgrund der steigenden Kosten der Edukte, ihrer hohen Toxizität und der Tatsache, dass die Synthese nicht stereoselektiv verläuft, wird Milchsäure heute nahezu ausschließlich biotechnologisch produziert.^[22]

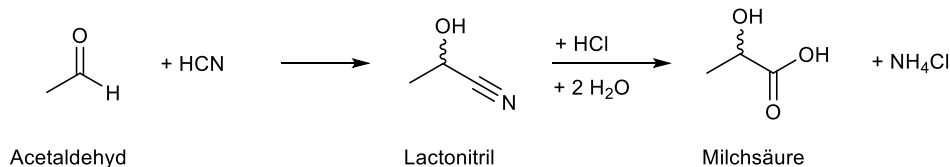


Abbildung 2.1: Syntheseweg der industriellen chemischen Synthese von Milchsäure

Für die biotechnologische Milchsäureproduktion werden Mikroorganismen verwendet, die in der Lage sind, hohe Konzentrationen an Lactat mit nahezu quantitativer Ausbeute und hoher Produktivität zu produzieren.^[23] Zudem lässt sich die Enantiomerenreinheit über die Auswahl des Mikroorganismus steuern, sodass L- bzw. D-Lactat in hohem Enantiomerenüberschuss erhalten werden können. Weitere Vorteile des biotechnologischen Herstellungswegs sind die Nutzung CO₂-neutraler nachwachsender Rohstoffe als Substrate, geringe Produktionstemperaturen und damit verbunden auch geringere Energiekosten.^[24] Der Einsatz teurer Nährstoffquellen, die für das Wachstum vieler Stämme benötigt werden, stellt hingegen häufig ein Problem dar.^[22] Zur pH-Regulation während der Fermentation werden meist Calciumcarbonat oder Calciumhydroxid verwendet, deren Vorteil in der geringen Löslichkeit von Calciumlactat liegt (50 g/L Calciumlactat · 5 H₂O in Wasser bei 20 °C).^[25] Während der Fermentation wird dadurch eine Produkthemmung verhindert, sodass hohe Endkonzentrationen erreicht werden können und die Produktabtrennung erleichtert wird. Der Nachteil liegt in der langsamen Gleichgewichtseinstellung und einer damit verbundenen Verzögerung bei der pH-Regulation.^[26] Zudem spielt die Partikelgröße eine Rolle. Eine kleine Partikelgröße und damit eine große Oberfläche des Calciumcarbonats zeigte einen deutlichen positiven Effekt auf die Fermentation.^[27] Das präzipitierte Calciumlactat wird anschließend abfiltriert und in Schwefelsäure gelöst. Das dabei ausfallende Calciumsulfat wird abgetrennt und die Milchsäure durch Veresterung, Destillation und Hydrolyse weiter aufgereinigt (Abb. 2.2).^{[28],[29]} Trotz des Nachteils, dass große Mengen Calciumsulfat als Nebenprodukt anfallen, wird diese Methode der Produktgewinnung und Aufreinigung im industriellen Prozess angewandt.

Die großtechnische Produktion fokussiert sich bisher vor allem auf L-Lactat, aufgrund seiner Verwendung als Säuerungs- und Konservierungsmittel in der Lebensmittelindustrie. Durch die steigenden Rohölpreise wuchs erst in den letzten Jahren das Interesse an Polylactiden (PLA, poly lactic acid) und damit auch an D-Lactat.^[9] Die erste Anlage zur fermentativen

Herstellung von D-Lactat basiert auf der Technologie von Myriant und wurde 2008 von Purac in Thailand eröffnet. Sie hat eine Produktionskapazität von 100 ktpa.^[6]

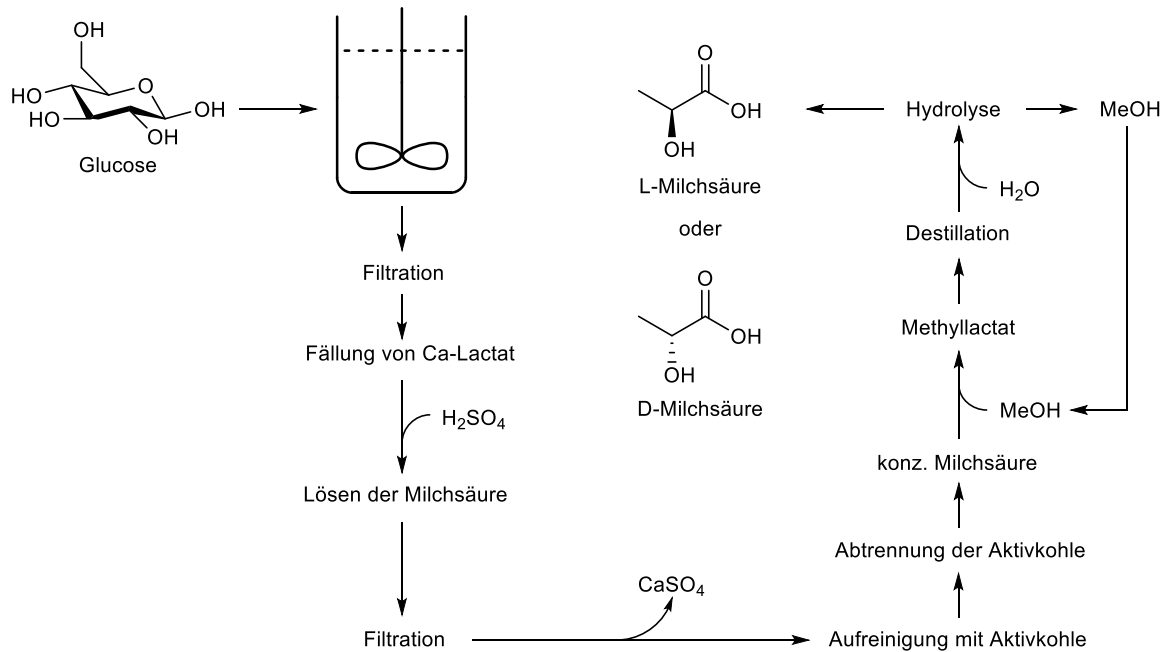


Abbildung 2.2: Schema der Fermentation und Aufreinigung von Milchsäure

2.1.3 Anwendungen

L-Lactat, das auch im menschlichen Körper vorkommt, ist das bevorzugte Isomer für Anwendungen in der Lebensmittelindustrie und Medizin. In der Lebensmittelindustrie wird es häufig als Konservierungsmittel, Säuerungsmittel und Aromastoff eingesetzt. In der Pharmaindustrie wird es ebenfalls zur pH-Regulation verwendet. Außerdem dienen Lactate einiger hydrophober Wirkstoffe dazu, deren Aufnahme zu verbessern. Beispiele sind das Antibiotikum Ciprofloxacinlactat, das Opioidanalgetikum Pentazocinlactat und Ethacridinlactat, das eine antiseptische Wirkung besitzt. Es kommt außerdem als Detergenz und Desinfektionsmittel in Haushaltsreinigern und als Additiv in der Tierernährung vor. Neben diesen Anwendungen wird ein Großteil der Milchsäure zu PLA umgesetzt.^[30]

2.2 Polylactide

PLA ist ein biobasiertes und bioabbaubares Polymer, dass bereits 1845 erstmals synthetisiert wurde.^[31] 1951 patentierte DuPont ein Verfahren zur Herstellung von Lactidpolymeren. Da in diesem Verfahren Polymere mit geringen Molekülmassen erhalten wurden, deren Schmelzbereiche bei 123-125 °C lagen, beschränkte sich die Anwendung zunächst auf Medizinprodukte wie Systeme zur kontinuierlichen Wirkstofffreisetzung, biokompatible Fäden und Implantate.^{[32],[33]} 1993 patentierte die Cargill Inc. einen kontinuierlichen Prozess zur Herstellung hochmolekularer PLA basierend auf der Ringöffnungspolymerisation des Lactidrings (Abb 2.3).^[34] 1997 gründeten sie zusammen mit der Dow Chemical Company das 50/50 Joint Venture Cargill Dow LLC, um unter dem Namen NatureWorks™ die Produktion und Vermarktung von PLA zu fördern. Das seit 2005 unter dem Namen NatureWorksLLC operierende Unternehmen ist heute der weltweit größte PLA-Produzent.^[35]

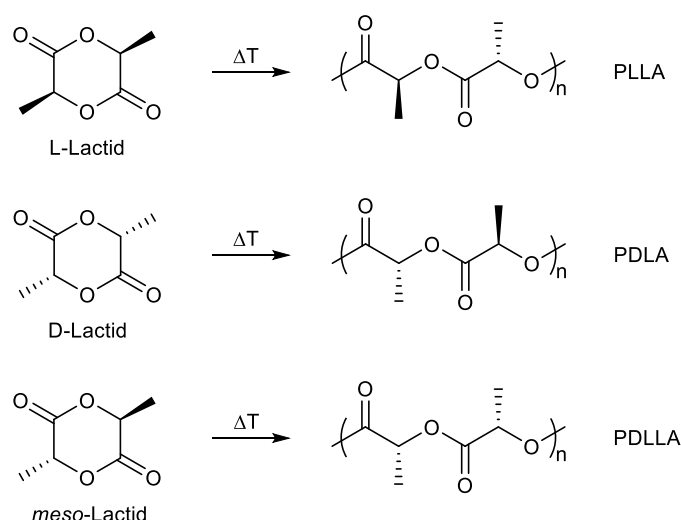


Abbildung 2.3: Ringöffnungspolymerisation des Lactidrings zu verschiedenen PLA-Arten

Die Eigenschaften von PLA werden neben dem Molekulargewicht auch maßgeblich durch das Enantiomerenverhältnis von L- und D-Lactat beeinflusst. Während teilkristalline Poly-L-Lactide (PLLA, Poly-L-lactic acid) und Poly-D-Lactide (PDLA, Poly-D-lactic acid) eine Glasübergangstemperatur von 50-65 °C und einen Schmelzbereich von 170-190 °C aufweisen, hat das amorphe Poly-DL-Lactid (PDLLA, Poly-DL-lactic acid), das aus dem racemischen Gemisch gewonnen wird, eine Glasübergangstemperatur von 50-60 °C und schlechtere mechanische Eigenschaften als PLLA und PDLA.^[4] Die Kombination von PLLA und PDLA führt hingegen zur Bildung eines kristallinen Stereokomplexes (scPLA,

stereocomplex poly(lactic acid), indem die entgegengesetzten helikalen Polymerketten über van-der-Waals-Wechselwirkungen und Wasserstoffbrückenbindungen an Stabilität gewinnen (Abb. 2.4).^{[36],[37]} Verglichen mit PLLA und PDLA besitzt scPLA verbesserte thermische und mechanische Eigenschaften sowie eine höhere Hydrolysestabilität (Tab. 2.1).^[4] Durch die höhere Stabilität von scPLA eröffnen sich neue, breitere Anwendungsmöglichkeiten, zum Beispiel als Beschichtungsmaterial, Gehäuse von Haushaltsgeräten oder als Interieurkomponenten in der Automobilindustrie.^[5]

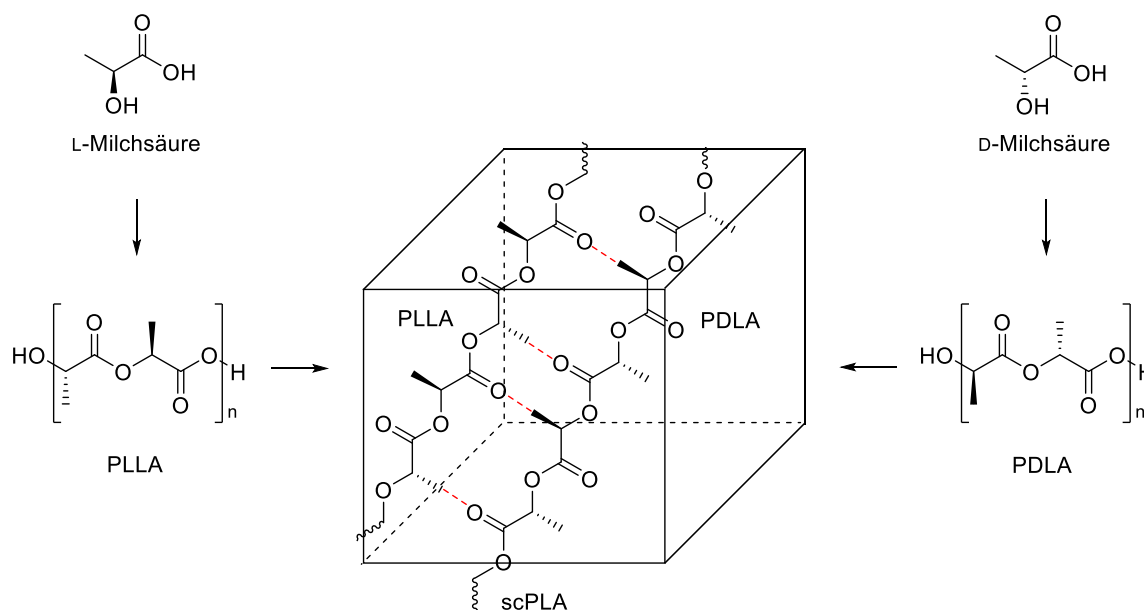


Abbildung 2.4: Copolymerisation von PLLA und PDLA zum isotaktischen Stereokomplex (scPLA); rot getrichelte Linie: Wasserstoffbrückenbindungen

Tabelle 2.1: Physikalische Eigenschaften enantiomerenreiner und racemischer Poly(lactide) im Vergleich zum isotaktischen Stereokomplex^[4]

Physikalische Eigenschaften		scPLA	PLLA/PDLA	PDLA
T_m^A	[°C]	220 – 230	170 – 190	–
T_g^B	[°C]	65 – 72	50 – 65	50 – 60
ΔH_m (100 %) ^C	[J·g ⁻¹]	142, 146	93, 135, 142, 203	–
ΔE_{td}^D	[kJ·mol ⁻¹]	205 – 297	87 – 104	–
Zugfestigkeit	[GPa]	0,88 ^E	0,12 – 2,3 ^E	0,04 – 0,05 ^F
Elastizitätsmodul	[GPa]	8,6 ^E	7 – 10 ^E	1,5 – 1,9 ^F
Bruchdehnung	[%]	30 ^E	12 – 26 ^E	5 – 10 ^F

A Schmelztemperatur; B Glasübergangstemperatur; C Spezifische Schmelzenthalpie eines unendlich ausgedehnten Kristalls; D Aktivierungsenergie für die thermische Zersetzung geschätzt durch Thermogravimetrie bei konstanter Temperatur (250 – 270 °C); E Längsfaser; F Wirrfaser

Im Jahr 2014 wurde die weltweite PLA-Produktion auf etwa 120 ktpa geschätzt.^[8] Hauptproduzent ist NatureWorks LLC (USA), mit einer Produktionskapazität von 150 ktpa. Sie produzieren unter dem Trademark Ingeo Polylactidpolymere, die als Verpackungsmaterialien, Textilien, Haushaltswaren oder in Medizin- und Kosmetikprodukten Anwendung finden.^[38] Da D-Lactat nur begrenzt im industriellen Maßstab verfügbar ist, ist auch die Produktion von PDLA und scPLA noch gering. Führend sind hier Corbion Purac (Niederlande), Cellulac (Deutschland) und das Joint Venture Futerro (Belgien), das 2007 von Galactic und Total Chemicals gegründet wurde.^[8]

Der derzeitige Preis von PLA liegt bei durchschnittlich 2,0-2,2 US\$/kg. Um PLA vielfältig einsetzbar zu machen, müssen Wege gefunden werden, PLA kostengünstiger zu produzieren. Dazu müssen vor allem die Kosten der als Substrat verwendeten Rohstoffe und der Fermentationsmedien gesenkt werden.^{[8],[39]}

2.3 Biotechnologische Lactatproduktion

2.3.1 Mikroorganismen

Die zum Primärmetabolismus gehörende Milchsäuregärung findet sowohl in Bakterien als auch in Hefen, Pilzen, Algen und Cyanobakterien in unterschiedlicher Ausprägung statt. Unter den Bakterien zählen Milchsäurebakterien, Stämme der Gattung *Bacillus*, *Escherichia coli* und *Corynebacterium glutamicum* zu den meist verwendeten Milchsäureproduzenten.^[22] Zur Ordnung der Milchsäurebakterien Lactobacillales gehören die Gattungen *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus*, *Carnobacterium*, *Lactococcus*, *Streptococcus*, *Enterococcus*, *Vagococcus*, *Aerococcus*, *Alloiococcus*, *Oenococcus*, *Sporolactobacillus*, *Tetragenococcus*, und *Weissella*.^[40] Sie besitzen einen fakultativ anaeroben Stoffwechsel, sind grampositiv, in der Regel nicht sporulierend und Katalase-negativ. Mit Ausnahme weniger Stämme sind sie nicht pathogen und zeichnen sich durch ihre hohe Lactatproduktion und geringe Nebenproduktbildung aus. Je nach Stamm sind sie in der Lage, L- bzw. D-Lactat in hohem Enantiomerenüberschuss zu produzieren.^[41]

Auch einige *Bacillus* spp., wie *Bacillus smithii* sind in der Lage, D-Lactat zu produzieren.^[42] Native *Bacillus coagulans* Stämme bilden hingegen nur L-Lactat, sind aber, aufgrund ihrer Fähigkeit Pentosen über den Pentosephosphatweg effizient umzusetzen, für die industrielle Lactatproduktion aus lignocellulosehaltigen Biomassen vielversprechend.^[43]

Da *Escherichia coli* und *Corynebacterium glutamicum* weitere organische Säuren als Nebenprodukte bilden, sind zur Lactatproduktion nur genetisch modifizierte Stämme dieser Gattungen geeignet.^{[44],[45]} Gleiches gilt für die Lactatproduktion mit Hefen, in denen die Ethanolproduktion durch Knock-out der Pyruvatdecarboxylase eingestellt werden muss, um eine hohe Lactatproduktion zu erhalten.^[46]

Pilze der Gattung *Rhizopus*, insbesondere *Rhizopus oryzae*, eignen sich zur Produktion von L-Lactat mit hoher Enantiomerenreinheit. Sie bringen weitere Vorteile, wie geringe Nährstoffanforderungen, den homofermentativen Abbau von Pentosen und niedrige pH-Wachstumsbereiche mit sich.^[47]

Photosynthese betreibende Mikroorganismen, wie Algen und Cyanobakterien bilden Glucose bzw. Stärke aus CO₂, die von einigen Stämmen in Lactat umgesetzt werden können. *Nannochlorum* sp. 26A4 produziert unter dunklen, anaeroben Bedingungen D-Lactat mit hoher optischer Reinheit und einer Ausbeute von 70 %.^[48] Durch die Photosynthese werden zwar die Substratkosten eliminiert, da aber die zum Wachstum benötigte Lichtzufuhr und die Anschaffung von Photobioreaktoren hohe Kosten verursachen, finden Algen im Allgemeinen bisher nur selten Anwendung in großtechnischen Prozessen.^[49]

In Europa untersagt die Verordnung (EG) Nr. 1829/2003 den Einsatz gentechnisch modifizierter Biomasse als Tierfutter, weshalb die Fermentation von Wildtypstämmen favorisiert wird, da sich so die erhaltene Biomasse weiter verwerten lässt.^[50] Für die D-Lactatproduktion eignen sich daher vor allem Milchsäurebakterien, die allerdings komplexe Nährstoffanforderungen besitzen. Zudem muss das Risiko für Bakteriophageninfektionen in Kauf genommen werden, die ein generelles Problem bakterieller Fermentationen darstellen. Sie verursachen eine Zelllyse, wodurch die Produktion nach und nach zum Erliegen kommt.^[51]

2.3.2 Kohlenhydrat-Metabolismus in Milchsäurebakterien

Es wird zwischen homo- und heterofermentativer Milchsäuregärung unterschieden.

In der **homofermentativen** Milchsäuregärung werden Hexosen über den Embden-Meyerhof-Parnas(EMP)-Weg^[52] und Pentosen über den Pentosephosphat(PP)-Weg^[53] umgesetzt. Es entsteht in beiden Stoffwechseln Fructose-6-Phosphat, das weiter im EMP-Weg zu Fructose-

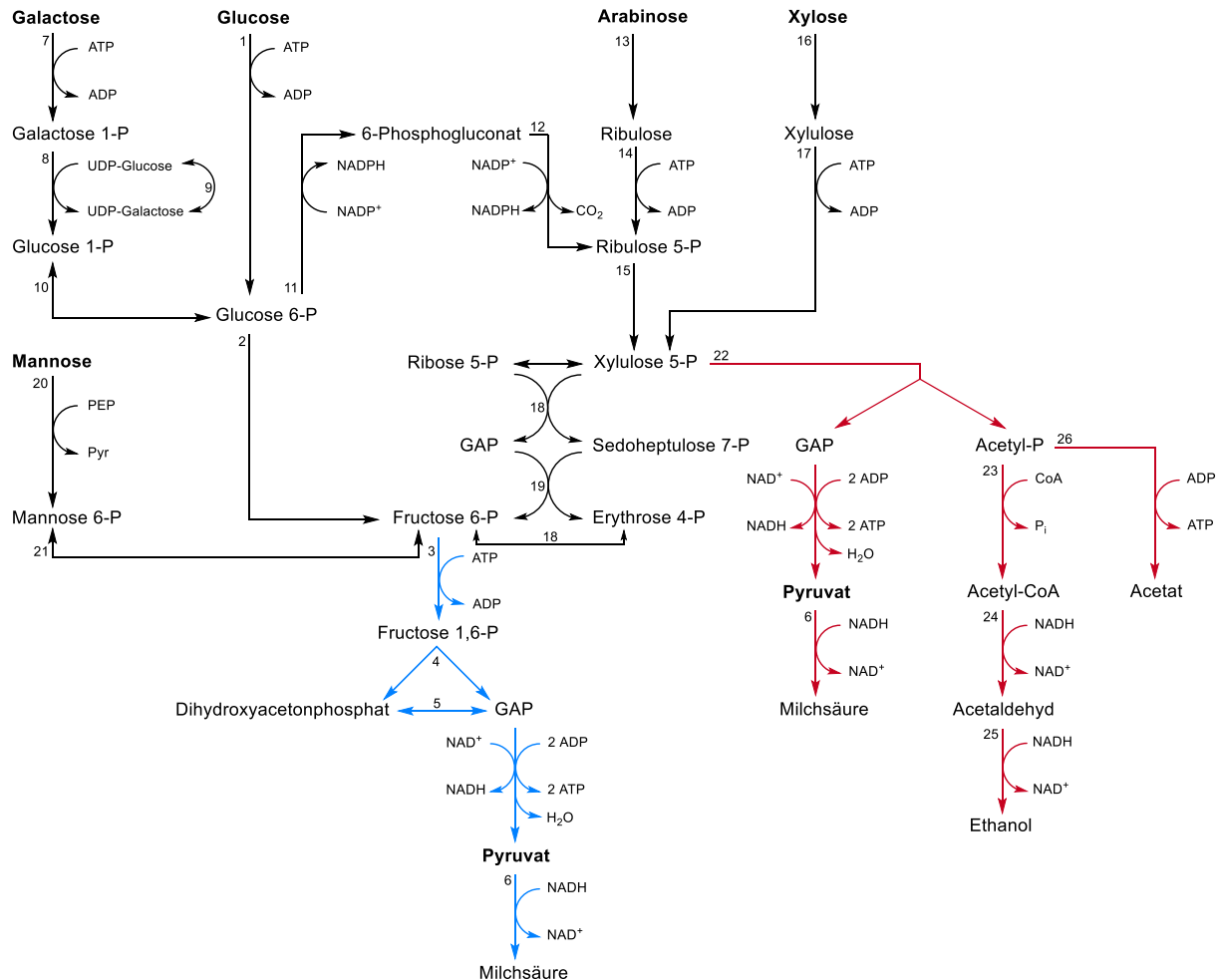


Abbildung 2.5: Kohlenhydratmetabolismus von Hexosen und Pentosen zu Milchsäure^[54]

Blau: homofermentative Glycolyse und Pentosephosphatweg; rot: heterofermentativer Phosphoketolaseweg; 1 Hexokinase; 2 Glucose-6-phosphat-Isomerase; 3 6-Phosphofructokinase; 4 Fructose-1,6-bisphosphat-Aldolase; 5 Triosephosphatisomerase; 6 Lactatdehydrogenase; 7 Galactokinase; 8 Galactose-1-phosphat-Uridyltransferase; 9 UDP-Galactose-4-Epimerase; 10 Phosphoglucomutase; 11 Glucose-6-phosphat-Dehydrogenase; 12 6-Phosphogluconat-Dehydrogenase; 13 Arabinoseisomerase; 14 Ribulokinase; 15 Ribulosephosphat-3-Epimerase; 16 Xyloseisomerase; 17 Xylulokinase; 18 Transketolase; 19 Transaldolase; 20 Mannosephosphotransferase-System; 21 Mannose-6-phosphat-Isomerase; 22 Phosphoketolase; 23 Phosphotransacetylase; 24 Aldehyddehydrogenase; 25 Alkoholdehydrogenase; 26 Acetatkinase; GAP Glyceraldehyd-3-phosphat; PEP Phosphoenolpyruvat; Pyr Pyruvat.

1,6-Diphosphat phosphoryliert wird. Die Aldolase, die als Schlüsselenzym der homofermentativen Milchsäuregärung gilt, spaltet Fructose-1,6-Diphosphat anschließend in Glyceraldehyd-3-phosphat (GAP) und Dihydroxyacetonphosphat.^[55] Dieses wird wiederum zu GAP isomerisiert und schließlich in mehreren Schritten zu Pyruvat umgesetzt (Abb. 2.5). Die theoretische Ausbeute an Milchsäure beträgt demnach 1,0 g/g Hexose (2 mol/mol). Für Pentosen beträgt die theoretische Ausbeute an Milchsäure 1,0 g/g Pentose (1,67 mol/mol), da im PP-Weg aus 3 mol Pentose zunächst 1 mol GAP und 2 mol Fructose-6-Phosphat erzeugt werden, die dann weiter zu Pyruvat und Milchsäure reagieren.^[56]

Die **heterofermentative** Milchsäuregärung findet über den Phosphoketolase-Weg statt, in dem Hexosen und Pentosen zunächst zu Xylulose-5-Phosphat reagieren. Im Fall von Hexosen wird dabei CO_2 abgespalten. Xylulose-5-Phosphat wird vom Schlüsselenzym, der Phosphoketolase, in GAP und Acetylphosphat gespalten (Abb. 2.5).^[57] Es entsteht eine equimolare Menge Pyruvat und Acetat bzw. Ethanol. Daraus resultiert eine theoretische Ausbeute an Milchsäure von 0,5 g/g Hexose (1,0 mol/mol) und 0,6 g/g Pentose (1,0 mol/mol).^[56]

Die meisten Milchsäurebakterien metabolisieren Hexosen homofermentativ und Pentosen heterofermentativ. Einige Stämme, wie *Leuconostoc* spp. und *Oenococcus oeni* setzen hingegen auch Hexosen auf heterofermentativem Weg um.^{[58],[59]} Darüberhinaus gibt es native Stämme, wie *Lactococcus lactis* IO-1 oder *Enterococcus faecium* QU 50, und gentechnisch veränderte Stämme, wie *Lactobacillus plantarum* NCIMB 8826 $\Delta\text{ldhL1-xpk1}::\text{tkl}$, die Pentosen homofermentativ abbauen.^{[60],[61],[62]} Dies ist insbesondere für die Verwertung lignocellulosehaltiger Biomasse von Interesse.

Die Folgereaktion von Pyruvat zu L-Lactat wird unter Oxidation von NADH zu NAD^+ von der L-(+)-Lactatdehydrogenase (EC1.1.1.27) bzw. zu D-Lactat von der D-(-)-Lactatdehydrogenase (EC1.1.1.28) katalysiert. In den meisten Stämmen sind beide Lactatdehydrogenasen parallel vorhanden, da sich diese aber zwischen verschiedenen Stämmen unterscheiden, ist auch ihre Aktivität und das daraus resultierende Enantiomerenverhältnis verschieden.^[12] Je nach Stamm kann durch Anpassung der Fermentationsbedingungen, wie pH, Temperatur, Salzkonzentration, Nährstoffkonzentration oder Begasung das Enantiomerenverhältnis beeinflusst werden.^{[63],[64]}

In Konkurrenz zur Milchsäuregärung kann Pyruvat in der gemischten Säuregärung zu Nebenprodukten wie Formiat, Ethanol und Acetat umgesetzt werden (Abb. 2.6).^[65]

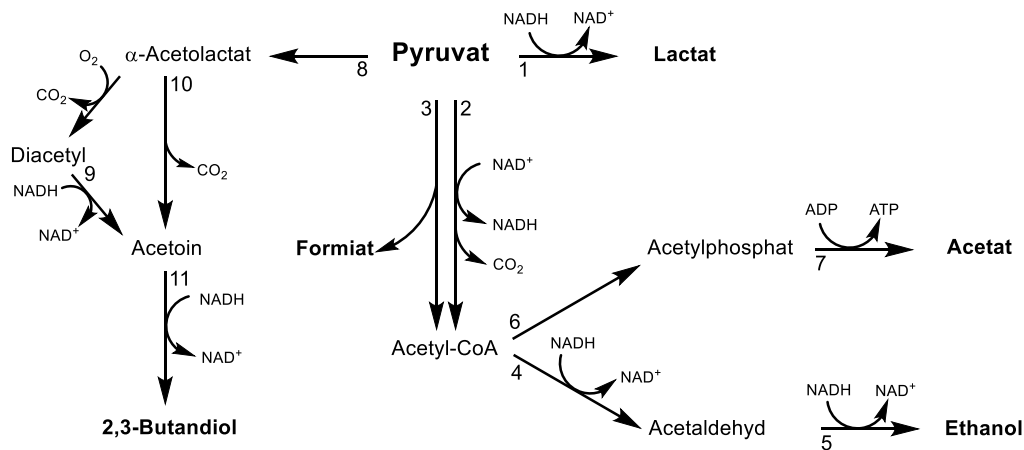


Abbildung 2.6: Stoffwechselweg der gemischten Säuregärung

1 Lactatdehydrogenase; 2 Pyruvatdehydrogenase; 3 Pyruvat-Formiat-Lyase; 4 Acetaldehyddehydrogenase; 5 Alkoholdehydrogenase; 6 Phosphotransacetylase; 7 Acetatkinase; 8 α-Acetolactatsynthase; 9 Diacetylreductase; 10 α-Acetolactatdecarboxylase; 11 2,3-Butandioldehydrogenase

2.3.3 Nährstoffanforderungen von Milchsäurebakterien

Milchsäurebakterien sind, je nach Art und Stamm, auxotroph für bestimmte Aminosäuren und Vitamine.^{[10],[66]} Um den Nährstoffbedarf decken zu können, werden meist komplexe Nährstoffquellen, wie Hefeextrakt eingesetzt, die Aminosäuren, Peptide, Nukleotide und Vitamine zur Verfügung stellen. Dies hat nicht nur höhere Produktionskosten zur Folge, sondern schränkt auch die Möglichkeit kontinuierlicher Produktabtrennungsverfahren ein, da dabei häufig dem Medium diese Nährstoffe entzogen werden.^[67]

2.3.3.1 Aminosäuren und Peptide

Um Aminosäuren und Peptide aus ihrer Umgebung aufnehmen und metabolisieren zu können, besitzen Milchsäurebakterien ein proteolytisches System bestehend aus 1. Proteasen, die Proteine in Peptide spalten, 2. Transportsysteme, mit denen diese Peptide durch die Zellmembran aufgenommen werden und 3. Peptidasen, die die Peptide in der Zelle zu freien Aminosäuren abbauen.^[68]

Ein Großteil der Milchsäurebakterien besitzt zum Abbau von Proteinen Zellwand-gebundene extrazelluläre Serinproteasen Prt, in deren aktivem Zentrum sich die katalytische Triade, ein hochkonserviertes Asp, His, Ser Aminosäuremotiv, befindet. Der Aspartatrest stabilisiert das

Substrat im Oxyanion-Loch des aktiven Zentrums, während Histidin und Serin, an der Spaltung der Peptidbindung beteiligt sind (Abb. 2.7).^{[69],[70]} Diese caseinolytischen Proteasen sind insbesondere in Milchsäurebakterien zu finden, die aus Molkereiprodukten oder dem Intestinaltrakt stammen und sind wahrscheinlich durch Adaption entstanden.^[71]

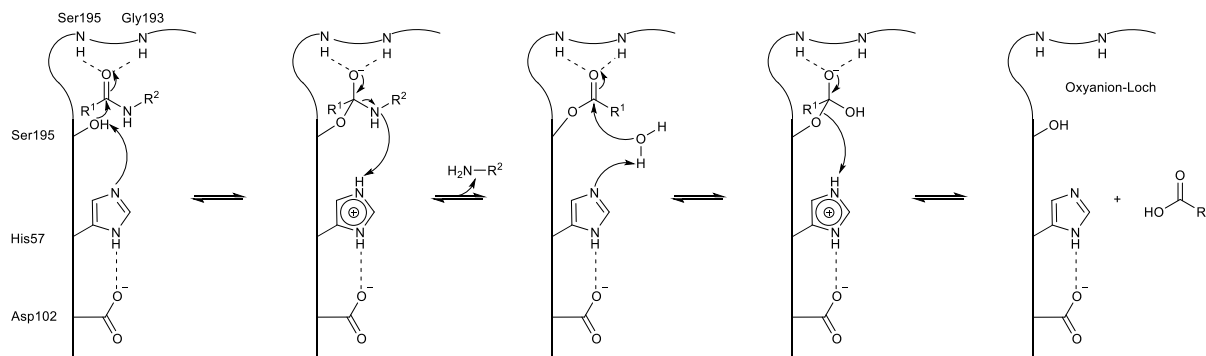


Abbildung 2.7: Mechanismus der Proteolyse einer Serinprotease^[72]

Zur Peptidaufnahme sind in Milchsäurebakterien drei Transportsysteme bekannt: DtpT, Dpp und Opp. DtpT gehört zur Familie der Protonen-abhängigen Oligopeptidtransporter (POT) und ist spezifisch für hydrophile Di- und Tripeptide.^[73] Dpp und Opp gehören der ABC-Transporter-Superfamilie an. Während Dpp vor allem Di- und Tripeptide bestehend aus hydrophoben Aminosäuren transportiert, ist Opp auch in der Lage, größere Oligopeptide in die Zelle zu transportieren.^[74] Zur Aufnahme freier Aminosäuren sind außerdem diverse Aminosäuretransporter vorhanden.

In der Zelle werden die Peptide von Peptidasen in freie Aminosäuren gespalten. Dabei wird zwischen Endopeptidasen, die innere Peptidbindungen hydrolysieren, und Exopeptidasen, die Peptide von den Kettenenden her abbauen, unterschieden. Bei den meisten Exopeptidasen in Milchsäurebakterien handelt es sich um Aminopeptidasen, deren Spezifität von der Peptidlänge und dem *N*-terminalen Aminosäurerest bestimmt wird. Neben Aminopeptidasen gibt es in Dipeptidasen und Tripeptidasen, die eine breite Spezifität besitzen sowie prolinspezifische Peptidasen, die als Einzige die Fähigkeit besitzen *N*-terminale Prolinreste abzuspalten.^{[68],[75]}

Kunji et al. zeigten in *Lactococcus lactis*, dass β -Casein von der Proteinase PrtP gespalten wird und ein Knock-out des Opp-Transportsystems anschließend zur Akkumulation der Peptide außerhalb der Zelle führt. Demnach ist außerhalb der Zelle keine Peptidaseaktivität vorhanden, die die Verwertung des β -Caseins als Nährstoffquelle ermöglicht.^[76]

2.3.3.2 Vitamine

Vitamine sind essenziell für Wachstum und Milchsäureproduktion und müssen bei Auxotrophie aus dem Medium aufgenommen werden. 1963 untersuchte Du Plessis 12 Stämme mindestens fünf verschiedener Arten von *Lactobacilli*, die aus Wein isoliert wurden, und stellte fest, dass alle diese Stämme Niacin, Riboflavin, Pantothersäure und entweder Thiamin oder Pyridoxin benötigten.^[77] Für die Aufnahme von Cyanocobalamin, Biotin, Folsäure, Niacin und Thiamin wurden aktive Transportsysteme identifiziert.^{[78],[79],[80]}

Thiamin wird zunächst phosphoryliert und bindet über die Phosphatgruppe an ein Thiamin-bindendes Protein, dass an der Zellmembran lokalisiert ist. Die Thiaminaufnahme von *Lactobacillus fermenti* wird von Temperatur, pH, Stereospezifität und dem osmotischen Druck beeinflusst.^{[81],[82]}

Für die Supplementierung mit Riboflavin und Riboflavinphosphat, die als Ausgangsstoffe für die Coenzyme Flavin-Adenin-Dinukleotid (FAD) und Flavinmononukleotid (FMN) benötigt werden, wurde eine ebenso fördernde Wirkung auf die Fermentation von *Lactobacillus casei* beobachtet, wie für die direkte Supplementierung mit FAD.^[83]

Neujahr *et al.* zeigten, dass die Aufnahme von Niacin in *Streptococcus faecalis* zur Akkumulation in der Zelle führt und bereits nach 20 Minuten ein Verhältnis von 3000:1 zwischen intrazellulärer und extrazellulärer Niacinkonzentration vorliegt. Diese Akkumulation gegen einen Konzentrationsgradienten sowie die pH-Abhängigkeit, die benötigte Energie und eine auftretende Sättigung der Aufnahme sind charakteristisch für ein aktives Transportsystem.^[84]

Desweiteren wurden in *S. faecalis* und *L. casei* auch intrazelluläre Akkumulationen von Pyridoxal bzw. Pyridoxalphosphat nachgewiesen. Im Gegensatz zu Thiamin und Niacin findet der Transport von Pyridoxal nicht aktiv statt, sondern wird als erleichterte Diffusion in die Zelle beschrieben. Monovalente Kationen beeinflussten die Akkumulation, dabei zeigten K^+ und Tetramethylammoniumionen einen positiven Effekt, wohingegen Na^+ inhibierend wirkte.^[85]

2.4 Hefeextrakt und alternative Nährstoffquellen

Hefeextrakt liefert mit seinem hohen Peptid- und Aminosäuregehalt, Kohlenhydraten, Vitaminen, Spurenelementen und Nukleotiden, wichtige biosynthetische Ausgangsstoffe, die in vielen Prozessen das Zellwachstum und die Metabolitenproduktion fördern.

Hefeextrakt beinhaltet die löslichen Zellbestandteile aus Hefezellen und wird meist durch Autolyse hergestellt. Dabei werden die Hefezellen durch Erhitzen auf etwa 50 °C abgetötet, während die endogenen Enzyme, insbesondere Proteasen und Ribonukleasen, aktiv bleiben. Diese verursachen die Zellyse intrazellulärer Biopolymere zu Peptiden, Aminosäuren und Nukleotiden etc.. Durch Abtrennen der Zellmasse, Aufkonzentrieren und Trocknen der wässrigen Lösung wird schließlich der Hefeextrakt erhalten.^[86] Weitere verwendete Aufschlussmethoden sind Thermolyse bei 100 °C, Plasmolyse bei hohen Salzkonzentrationen und mechanische Aufschlussmethoden, wie Hochdruckhomogenisation.^[87]

Die Zusammensetzung des Hefeextrakts wird durch die Kultivierungsbedingungen, die Reinheit und den eingesetzten Hefestamm beeinflusst. Ein Beispiel ist die Akkumulation von Kohlenhydraten wie Glykogen und Trehalose in Hefezellen, deren Menge stark abhängig von der Konzentration an Ammonium-Ionen und dem Verhältnis von ATP/ADP im Produktionsmedium ist.^{[88],[89]} Glykogen und Trehalose werden während der Autolyse zu Glucose hydrolysiert.^[90] Die im Hefeextrakt enthaltene Glucose kann dann während des Autoklaviervorgangs Maillardreaktionsprodukte bilden, die eine inhibierende Wirkung auf das Zellwachstum besitzen.^[91]

Peptone werden durch chemische oder enzymatische Hydrolyse mit Pepsin aus proteinreichen Nebenprodukten der Lebensmittel- und Futtermittelindustrie hergestellt, häufig basierend auf Casein, Soja oder Weizen. Analog dazu wird Trypton durch enzymatische Hydrolyse mit Trypsin erhalten.

2.5 Einsatz alternativer Kohlenstoff- und Nährstoffquellen für die Lactatproduktion

Ein Großteil der anfallenden Produktionskosten für Milchsäure ist auf die verwendeten Kohlenstoff- und Nährstoffquellen zurückzuführen. Der Kostenanteil von Hefeextrakt bei der Lactatproduktion aus Molkepermeat als Substrat wurde von Tejayadi *et al.* auf 38 % geschätzt.^[92] Für die industrielle Lactatproduktion ist daher die Nutzung günstiger

landwirtschaftlicher und tierischer Reststoffe als alternative Kohlenstoff- bzw. Nährstoffquelle wünschenswert. Die verwendeten Rohstoffe sollten neben ihren geringen Kosten, zu hohen Produktivitäten und hohen Ausbeuten bei geringer Nebenproduktbildung führen und ganzjährig verfügbar sein.^[93]

Als Kohlenstoffquelle werden häufig Melassen sowie stärke- und cellulosehaltige Rohstoffe eingesetzt, die zunächst enzymatisch oder chemisch aufgeschlossen werden müssen, um die Monosaccharide bereitzustellen, die von den Milchsäurebakterien metabolisiert werden können. Für die enzymatische Hydrolyse werden je nach Substrat Amylasen, Pullulanase, Cellulase und β -Glucosidase eingesetzt.^{[94],[95],[96],[97]} Sie kann auf zwei Arten erfolgen: als separate Hydrolyse und Fermentation (SHF) oder als simultane Verzuckerung und Fermentation (SSF, simultaneous saccharification and fermentation). Da es im SHF-Prozess mit Cellulose zur Produkthemmung des Enzyms durch intermediär gebildete Cellobiose kommt, sind höhere Enzymkonzentrationen für eine vergleichbare Ausbeute an Monosacchariden nötig.^{[97],[98]} Aus diesem Grund etablierte sich der SSF-Prozess, in dem nicht nur diese Produkthemmung durch den simultanen Umsatz zu Milchsäure verhindert wird, sondern auch die geringen Startkonzentrationen die Lactatproduktion verbessern können, da keine Substrathemmung der Milchsäurebakterien auftritt.^[99] Die Optimalbedingungen der enzymatischen Hydrolyse stimmen jedoch meist nicht mit denen der Fermentation überein, sodass Kompromisse eingegangen werden müssen.^[100]

Analog zum SHF und SSF gibt es auch für alternative Nährstoffquellen chemische, enzymatische und enzymatisch simultane Hydrolyseansätze, um die Proteine optimal nutzbar zu machen.^[101] Wang *et al.* verglichen diese Hydrolysemethoden, wobei die simultane enzymatische Hydrolyse und Fermentation von *Sporolactobacillus inulinus* CASD mit 3,8 g/(L·h) zur höchsten Produktivität führte.^[101] Tabelle 2.2 zeigt Beispiele für die D-Lactatproduktion unter Einsatz alternativer Substrate und Nährstoffquellen. Dabei werden im Allgemeinen hohe Ausbeuten erzielt. Die höchste Produktivität von 5,25 g/(L·h) erhielten Reddy Tadi *et al.* bei der Batch-Fermentation von unraffiniertem Palmyrapalmzucker und enzymatisch hydrolysiertem Molkeproteinkonzentrat als Nährstoffquelle mit *S. inulinus*.^[102] In einem Fed-Batch-Ansatz von Zhao *et al.* wurde mit *S. inulinus* Y2-8 die höchste Endkonzentration von 219 g/L D-Lactat aus Maismehl als Substrat produziert.^[103]

Tabelle 2.2: Übersicht der in der Literatur veröffentlichten Ergebnisse zur Produktion von D-Milchsäure mit alternativen Substraten und Nährstoffquellen

Substrat	Nährstoffquelle (Konz. [g/L])	Mikroorganismus	D-Lactat [g/L]	Ausbeute [g/g]	Produktivität [g/(L·h)]	Literatur
Filterpapier ^A	Hefeextrakt (4), Fleischextrakt (8), Pepton (10)	<i>L. coryniformis</i> subsp. <i>torquens</i>	24	0,89 ^B	0,5	[104]
hydrolysiertes Reis ^C	Hefeextrakt (10), Pepton (10)	<i>L. delbrueckii</i> LD 0028 (IFO3202)	63	0,73 ^D	-	[94]
α -Cellulose ^A	Hefeextrakt (4), Fleischextrakt (10), Pepton (10)	<i>L. lactis</i> RM2-24	73	0,73 ^B	1,52	[97]
Bruchreis ^A	Hefeextrakt (10), Pepton (5)	<i>L. delbrueckii</i> JCM 1106	79	0,81 ^D	3,59	[95]
Zuckerrohrsaft	Keine Angabe	<i>L. delbrueckii</i> JCM 1148	118	0,95 ^D	1,66	[105]
Maismehl ^{C,E}	Hefeextrakt (5)	<i>Sporolactobacillus</i> <i>inulinus</i> Y2-8	219	-	1,65	[103]
Zuckerrohrsaft	Hefeautolysat (44)	<i>Leuconostoc</i> <i>mesenteroides</i>	60	0,51 ^D	1,25	[106]
Unpolierter Reis ^C	Weizenkleie (29) Hefeextrakt (2,5)	<i>L. delbrueckii</i> HG106	91	0,73 ^B	1,5	[98]
Glucose	Baumwoll-samen ^{E,F} (40)	<i>Sporolactobacillus</i> <i>laevolacticus</i>	144	0,96 ^G	4,13	[107]
Palmyrapalm- Jaggery	Molkeprotein- Hydrolysat (12)	<i>Sporolactobacillus</i> <i>inulinus</i>	189	0,94	5,25	[102]
Glucose	Erdnuss- kuchenhmehl ^{E,F} (40)	<i>Sporolactobacillus</i> <i>inulinus</i> CASD	207	0,93 ^G	3,8	[101]

^A SSF; ^B Ausbeute bezogen auf eingesetzte Substratmenge; ^C SHF; ^D Ausbeute bezogen auf Glucosestartkonzentration; ^E Fed-Batch-Ansatz; ^F Simultane enzymatische Proteolyse und Fermentation; ^G Ausbeute bezogen auf Substratverbrauch

3. Material und Methoden

3.1 Nährstoffquellen

3.1.1 Hefeextrakte

Tabelle 3.1: verwendete Hefeextrakte und ihre Charakteristika nach Herstellerangaben; k.A. = keine Angabe

Handelsname	Produktbeschreibung des Herstellers	Hersteller
Fermtech®	k.A.	Merck KGaA, Darmstadt
Hefeextrakt		
Hefeextrakt granuliert	Autolysat mit geringem Endotoxingehalt	Merck KGaA, Darmstadt
CMRT	Ausgeglichener Gehalt an freien Aminosäuren, Peptiden und Nukleotiden	Ohly GmbH, Hamburg
CMT MP	Salzfreie Autolyse kombiniert mit enzymatischer Hydrolyse	Ohly GmbH, Hamburg
CPT	Salzarmes Hefeautolysat kombiniert mit einer enzymatischen Hydrolyse, reich an leicht verfügbaren Peptiden	Ohly GmbH, Hamburg
CPT MP	Salzarmes Autolysat kombiniert mit enzymatischer Hydrolyse	Ohly GmbH, Hamburg
CTT-R	Ausgeglichener Gehalt an Ribonukleotiden, freien Aminosäuren und Peptiden	Ohly GmbH, Hamburg
KAT	Hefeautolysat mit geringem Salzgehalt	Ohly GmbH, Hamburg
KAT GMP	geringer Salz- und hoher Aminosäuregehalt	Ohly GmbH, Hamburg
PTK	Ultrafiltrierter salzfreier Hefeextrakt mit besonderem Aufreinigungsprozess	Ohly GmbH, Hamburg
PTU	Ultrafiltrierter salzarmer Hefeextrakt, reich an leicht verfügbaren Peptiden	Ohly GmbH, Hamburg
FNI 100	Hefeextrakt aus Primärhefe	Lallemand Inc., Montreal, Kanada
FNI 103 ag	Mineralien angereicherter Hefeextrakt	Lallemand Inc., Montreal, Kanada
FNI 105 ag	Vitamin angereicherter Hefeextrakt	Lallemand Inc., Montreal, Kanada
FNI 200	Hefeextrakt aus Brauereihefe	Lallemand Inc., Montreal, Kanada
FNI 210	Hefeextrakt aus Destillierhefe	Lallemand Inc., Montreal, Kanada
FNI 410	Glutathion-Hefeextrakt	Lallemand Inc., Montreal, Kanada
FNI 710	Hefepepton mit spezifischem Peptidprofil	Lallemand Inc., Montreal, Kanada
FNI 800	Nukleotid angereichertes Hefepepton	Lallemand Inc., Montreal, Kanada
Leiber S	Bierhefeextrakt, reich an Bitterstoffen des Hopfens	Leiber GmbH, Bramsche
Leiber E	Bierhefeextrakt, entbittert	Leiber GmbH, Bramsche

Handelsname	Produktbeschreibung des Herstellers	Hersteller
Leiber H	Bierhefeextrakt, entbittert und arm an Kohlenhydraten und Phenolen durch spezielle Aufreinigung	Leiber GmbH, Bramsche
Hefeextrakt	Salzarter Hefeextrakt, reich an B-Vitaminen	HiMedia Laboratories, Mumbai, India
Hefeextrakt	Ultrafiltriertes Hefeautolysat	Organotechnie, La Courneuve, Frankreich

3.1.2 Kommerziell erhältliche Hefeextraktersatzstoffe

Die in Tabelle 3.2 aufgeführten Hefeextraktersatzstoffe werden bereits im Herstellungsprozess einer Hydrolyse unterzogen, sie wurden daher ohne weitere Vorbehandlung als Nährstoffquelle eingesetzt.

Tabelle 3.2: verwendete kommerziell erhältliche Hefeextraktersatzstoffe

Hefeextraktersatzstoff	Hersteller
Fleischextrakt	Carl Roth GmbH + Co. KG, Karlsruhe
Fleischpepton	Merck KGaA, Darmstadt
Hy-Soy®	Sigma-Aldrich (Fluka), St. Louis, USA
Sojapepton	Organotechnie, La Courneuve, Frankreich
Weizenpepton	Organotechnie, La Courneuve, Frankreich
Pflanzenpepton	Organotechnie, La Courneuve, Frankreich
Trypton aus Casein	Carl Roth GmbH + Co. KG, Karlsruhe
Trypton aus Casein	Sigma-Aldrich (Fluka), St. Louis, USA
Pepton aus Casein	Sigma-Aldrich (Fluka), St. Louis, USA
Prolitech R	Saria Bio-Industries, Selm, Deutschland
Kartoffelrestfruchtwasser	Agrana Stärke GmbH, Wien, Österreich
Maisquellwasser	Sigma-Aldrich (Fluka), St. Louis, USA
Klarlauf (Vinasse)	fuel 21 GmbH & Co. KG, Stadt Wanzleben-Börde, Deutschland
Vinasse	fuel 21 GmbH & Co. KG, Stadt Wanzleben-Börde, Deutschland

3.1.3 Chemisch hergestellte Rohstoffhydrolysate

Die in Tabelle 3.3 gelisteten Rohstoffe wurden nach der milden chemischen Hydrolyse (Kap. 3.2.1) getrocknet, analysiert und analog zu Hefeextrakt als Nährstoffquelle eingesetzt.

Tabelle 3.3: zur milden chemischen Hydrolyse eingesetzte Rohstoffe; n.b. = nicht bekannt

Rohstoff	Hersteller
Blutprotein	Sarval, Issé, Frankreich
Erdnusskuchenmehl	Ölmühle Fandler GmbH, Pöllau, Österreich
Federmehl	PDM Group, Doncaster, UK
Fischmehl	Bioceval, Cuxhaven, Deutschland
Fleischknochenmehl	Knochen- und Fett-Union GmbH, Marl, Deutschland
Geflügelprotein	Kervalis, Vitré, Frankreich
Glutamin 68,9 % Protein	Maus & Co GmbH, Hamburg, Deutschland
Gluvital™	Cargill Inc., Wayzata, USA
Griebenmehl	Unimelt GmbH, Würzburg, Deutschland
Karottentrester	Heinrich Eggersmann Futtermittelwerke GmbH, Rinteln, Deutschland
Kartoffelprotein	Emsland Stärke GmbH, Emlichheim, Deutschland
Maiskleber	Cargill Inc., Wayzata, USA
Proti Grain®	CropEnergies AG, Mannheim, Deutschland
Rapsextraktionsschrot, kurz:Rapsschrot	Archer Daniels Midland AG, Chicago, USA
Rapspresskuchen	n.b.
Rote Beete Trester	Heinrich Eggersmann Futtermittelwerke GmbH, Rinteln, Deutschland
Rübenblatt	Sorte: Belladonna (KWS), 2012, Adenstedt, Deutschland
Selenhefe	n.b.
Sojaprotein	n.b.
Sojaproteinkonzentrat	Hamlet Protein A/S, Horsens, Dänemark
Sonnenblumenextraktionsschrot, kurz: Sonnenblumenschrot	Cargill Inc., Wayzata, USA
Weizenkleber	Cargill Inc., Wayzata, USA

3.1.4 Eingesetzte Konzentrationen der Nährstoffquellen im Fermentationsmedium

Die verschiedenen Nährstoffquellen wurden im Standardproduktionsmedium in Konzentrationen entsprechend dem Gesamtstickstoffgehalt von 10 g/L Merck Fermtech® Hefeextrakt eingesetzt. Ebenso wurde der Phosphatgehalt durch Zugabe von NaH_2PO_4 angepasst. Die eingesetzten Konzentrationen sind Tabelle 3.4 zu entnehmen.

Tabelle 3.4: Gesamtstickstoff- (TN) und Phosphatgehalt (PO_4^{3-}) sowie die daraus resultierende Konzentration (β) und die Phosphatzugabe in 1 L Medium mit Hefeextrakten, kommerziell erhältlichen Hefeextraktersatzstoffen, chemisch hergestellten Rohstoffhydrolysaten und ausgewählten Rohstoffen ohne Vorbehandlung als Nährstoffquellen; n.b. = nicht bekannt

Nährstoffquelle	TN [mg/g]	PO_4^{3-} Gehalt [mg/g]	β [g/L]	PO_4^{3-} Zugabe [mg/L]
Hefeextrakte				
Fermtech® Hefeextrakt	95,4	55,53	10,00	0
Hefeextrakt granuliert	113,1	25,22	8,43	343
CMRT	115,6	31,20	8,25	298
CMT MP	115,1	30,76	8,29	300
CPT	117,2	27,32	8,14	333
CPT MP	114,4	30,01	8,33	305
CTT-R	114,5	25,88	8,33	340
KAT	115,8	28,33	8,23	322
KAT GMP	118,9	34,49	8,02	279
PTK	117,0	30,98	8,15	303
PTU	112,7	22,69	8,46	363
FNI 100	102,5	22,28	9,30	348
FNI 103 ag	98,5	19,01	9,68	371
FNI 105 ag	97,2	21,18	9,81	347
FNI 200	92,9	37,84	10,27	167
FNI 210	105,8	21,37	9,02	363
FNI 410	58,5	27,48	16,31	107
FNI 710	87,9	37,74	10,85	146
FNI 800	98,5	27,35	9,68	291
Leiber S	103,1	40,30	9,25	183
Leiber E	103,8	39,15	9,19	196
Leiber H	112,3	48,77	8,49	141
HiMedia	114,7	20,77	8,31	383
Organotechnie	110,0	22,52	8,67	360
Kommerziell erhältliche Hefeextraktersatzstoffe				
Fleischextrakt	124,8	16,96	7,64	426
Fleischpepton	124,1	20,31	7,68	399
Hy-Soy®	92,1	9,65	10,36	455
Sojapepton	99,3	6,55	9,60	492
Weizenpepton	132,4	0,00	7,20	555
Pflanzenpepton	107,4	9,55	8,88	470
Trypton (Roth)	134,4	19,49	7,10	417
Trypton (Fluka)	138,2	13,12	6,90	465

Nährstoffquelle	TN	PO₄³⁻ Gehalt	β	PO₄³⁻ Zugabe
	[mg/g]	[mg/g]	[g/L]	[mg/L]
Pepton (Fluka)	124,1	16,70	7,68	427
Prolitech R	68,0	8,19	14,03	440
Kartoffelrestfruchtwasser	23,2	12,63	41,06	37
Maisquellwasser	20,5	27,71	46,61	-736
Klarlauf	30,2	6,64	31,53	346
Vinasse	30,3	6,59	31,50	348
Chemische Rohstoffhydrolysate				
Blutprotein	125,2	6,21	7,61	508
Erdnusskuchenmehl	47,1	7,08	20,25	412
Federmehl	121,9	6,28	7,82	506
Fischmehl	115,4	6,47	8,26	502
Fleischknochenmehl	142,3	7,04	6,70	508
Geflügelprotein	133,8	6,90	7,13	506
Glutamin 68,9 % Protein	108,2	6,56	8,81	497
Gluvital™	99,5	6,66	9,59	491
Gluvital™ (NaOH)	102,6	9,00	9,29	472
Griebenmehl	150,4	6,18	6,34	516
Karottentrester	14,5	7,04	65,54	94
Kartoffelprotein	107,5	7,58	8,87	488
Maiskleber	58,0	6,10	16,44	455
Proti Grain®	26,6	6,86	35,82	310
Rapsextraktionsschrot	48,0	7,25	19,88	411
Rapspresskuchen	61,5	6,91	15,51	448
Rote Beete Trester	14,2	6,38	67,23	126
Rübenblatt	14,2	7,38	66,97	61
Selenhefe	58,1	7,84	16,41	427
Sojaprotein	59,0	8,12	16,15	424
Sojaproteinkonzentrat	72,5	7,17	13,16	461
Sonnenblumenextraktionsschrot	49,6	7,36	19,23	414
Weizenkleber	113,2	7,82	8,42	489
Rohstoffe ohne Vorbehandlung				
Glutamin 68,9 % Protein	10,83	n.b.	8,80	555
Maiskleber	10,44	n.b.	9,14	555
Proti Grain®	4,88	n.b.	19,52	555
Rapsextraktionsschrot	5,39	n.b.	17,69	555
Rapspresskuchen	5,54	n.b.	17,20	555
Sonnenblumenextraktionsschrot	6,00	n.b.	15,88	555
Weizenkleber	12,95	n.b.	7,36	555

3.2 Hydrolysemethoden

3.2.1 Milde chemische Hydrolyse

Der Rohstoff wurde zunächst mit einer Grindomix GM 200 Messermühle der Firma Retsch (Haan, Deutschland) in kurzen Intervallen à 10 s gemahlen, um Hitzeentwicklung zu vermeiden und auf eine Partikelgröße <700 µm gesiebt. In Anlehnung an Wang *et al.*^[101] wurden 150 g Rohstoff mit 500 mL Wasser suspendiert und mit 3M H₂SO₄ auf pH 1 angesäuert. Durch Autoklavieren für 20 min bei 121 °C wurde der Rohstoff hydrolysiert. Nach dem Abkühlen wurde der Feststoff bei 10.000 g für 15 min in einer Biofuge stratos (Heraeus Instruments GmbH, Hanau, Deutschland) abzentrifugiert. Der Überstand wurde mit Ca(OH)₂ (im Fall von Gluvital wurde analog auch 1M NaOH verwendet) neutralisiert, das ausgefällte Calciumsulfat erneut abzentrifugiert (10.000 g, 15 min), der Überstand filtriert und anschließend an einer Alpha 1-2 LD (Martin Christ Gefriertrocknungsanlagen GmbH, Osterode am Harz, Deutschland) lyophilisiert.

3.2.2 Chemische Vollhydrolyse

Der mit einer Grindomix GM 200 Messermühle der Firma Retsch (Haan, Deutschland) gemahlene (10 s-Intervalle) und auf eine Partikelgröße <700 µm gesiebte Rohstoff wurde entsprechend seines Gesamtstickstoffgehalts (siehe Tabelle 3.4; Rohstoffe ohne Vorbehandlung) in 20 mL GC-Headspace-Vials eingewogen und 10 mL 3M H₂SO₄ hinzugegeben. Zur Optimierung der Säurekonzentration wurde die Hydrolyse auch mit 0,5M, 1M, 1,5M und 2M H₂SO₄ durchgeführt. Das Vial wurde mit einem Septum verschlossen, gut durchmischt und für 24 h im Sandbad im Trockenschrank auf 110 °C erhitzt. Das so erhaltene Vollhydrolysat wurde anschließend in ein 50 mL PP-Zentrifugenröhrchen überführt, mit Ca(OH)₂ auf pH 5 eingestellt und der Feststoff bei 10.000 g für 15 min in einer Biofuge stratos (Heraeus Instruments GmbH, Hanau, Deutschland) abzentrifugiert. Das Pellet wurde zweimal mit 20 mL Wasser gewaschen und die Überstände in einer 250 mL Schottflasche zusammengeführt. Anschließend wurden 10 mL Phosphatlösung (10,0 g/L K₂HPO₄ und 12,1 g/L KH₂PO₄) sowie 668 µL 10 %iger wässriger Ammoniaklösung und 5 mL Tryptophanlösung (4,5 g/L) hinzugegeben. Der pH-Wert wurde zur Fermentation von *S. inulinus* auf 6,2 eingestellt, das Volumen auf 125 mL aufgefüllt und das Hydrolysat autoklaviert. Pro 100 mL Kulturvolumen wurden 50 mL dieses Hydrolysats eingesetzt.

3.2.3 Enzymatische Hydrolyse

Der mit einer Grindomix GM 200 Messermühle der Firma Retsch (Haan, Deutschland) gemahlene (10 s-Intervalle) und auf eine Partikelgröße $<700\ \mu\text{m}$ gesiebte Rohstoff wurde entsprechend seines Gesamtstickstoffgehalts (siehe Tabelle 3.4; Rohstoffe ohne Vorbehandlung) in eine 250 mL Schottflasche eingewogen und in 70 mL Wasser suspendiert. Der pH-Wert wurde den in Tabelle 3.5 angegebenen Hydrolysebedingungen angepasst. Nun wurde bezogen auf den Proteingehalt 1 % Enzym hinzugegeben. Die Inkubation erfolgt bei den in Tabelle 3.5 angegeben Temperaturen mit 100 rpm für 48 h. Anschließend wurden 10 mL Phosphatlösung (10,0 g/L K_2HPO_4 und 12,1 g/L KH_2PO_4) sowie 668 μL 10 %ige wässrige Ammoniaklösung hinzugegeben. Der pH-Wert wurde zur Fermentation von *S. inulinus* auf 6,2 eingestellt und das Volumen auf 125 mL aufgefüllt. Das Hydrolysat wurde zur Sterilisation und Inaktivierung des Enzyms bei 121 °C für 20 min autoklaviert. Es wurden 50 mL dieses Hydrolysats pro 100 mL Kulturvolumen eingesetzt.

Tabelle 3.5: Verwendete Enzyme und Hydrolysebedingungen

Protease	Hersteller	eingestellter pH-Wert	verwendete Temperatur	Selektivität	Expressionsstamm
Alcalase®	Novozymes	9,0	60 °C	Serin endo-Peptidase	<i>Bacillus licheniformis</i>
Fermgen™	DuPont™ Genencor®	4,0	30 °C	endo, exo	<i>Trichoderma reesei</i>
Flavourzyme®	Novozymes	7,0	50 °C	exo, (endo)	<i>Aspergillus oryzae</i>
Neutrase®	Novozymes	6,0	50 °C	endo- Metalloprotease	<i>Bacillus</i> <i>amyloliquefaciens</i>
Protamex™	Novozymes	8,0	60 °C	endo	<i>Bacillus</i> sp.
Protex™ 6L	DuPont™ Genencor®	9,5	60 °C	endo	<i>Bacillus licheniformis</i>

3.3 Kultivierungen

3.3.1 Allgemeine Arbeitsweise

Alle Lösungen wurden mit Reinstwasser (Millipore, Milli Qplus 185) angesetzt. Medienbestandteile wurden, soweit nicht anders angegeben, getrennt voneinander im Autoklaven bei 121 °C für 20 min sterilisiert, um Nebenreaktionen, wie die Maillard-

Reaktion zu verhindern. Kulturen und sterile Lösungen wurden unter der Sterilwerkbank gehandhabt.

Alle Kultivierungen wurden im Doppelansatz durchgeführt. Zudem wurde bei jedem Ansatz Merck Fermtech® Hefeextrakt als Referenz mitgeführt.

3.3.2 Mikroorganismen und Stammhaltung

Die in dieser Arbeit verwendeten Mikroorganismen sind bei der DSMZ (Deutsche Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen GmbH, Braunschweig) hinterlegt und erhältlich. Es handelt sich um:

Sporolactobacillus inulinus DSM 20348

Sporolactobacillus putidus DSM 21265

3.3.3 Herstellung von Kryostockkulturen

Eine Vorkultur mit etwa $OD_{605nm} = 0,6$ wurde in sterile 2 mL Reaktionsgefäße aliquotiert und bei 4 °C und 20.800 g für 10 min in einer Zentrifuge 5417R (Eppendorf AG, Hamburg, Deutschland) zentrifugiert. Der Überstand wurde verworfen und der Vorgang zweimal wiederholt, sodass Zellpellets aus jeweils 6 mL Vorkultur erhalten wurden. Die Zellpellets wurden in je 1 mL Vorkulturmedium resuspendiert und in 2 mL Kryogefäße überführt. Anschließend wurde 1 mL sterile wässrige 75 %ige Glycerinlösung hinzugegeben und durchmischt. Die Kryokulturen wurden mit flüssigem Stickstoff schockgefroren und bei -80 °C gelagert.

3.3.4 Herstellung der Vorkulturen

100 mL des Vorkulturmediums (siehe Tabelle 3.6) wurden in einem Kulturkolben mit 2 mL einer Kryostockkultur inokuliert und bei 38 °C und 0 rpm für etwa 16 h inkubiert bis zu einer optischen Dichte von $OD_{605nm} = 0,2 - 0,4$.

Tabelle 3.6: Zusammensetzung des Vorkulturmediums

Komponente	β
Glucose	20 g/L
Hefeextrakt Merck Fermtech®	10 g/L
Trypton (Roth)	10 g/L
MgSO ₄ · 7 H ₂ O	0,2 g/L
Spurenelementlösung:	aus Stammlösung 1 g/L
FeSO ₄ · 7 H ₂ O	10 mg/L
MnSO ₄ · H ₂ O	10 mg/L
NaCl	10 mg/L

3.3.5 Medien und Kultivierungsbedingungen

Für die Kultivierungen beider Stämme wurde als Basismedium das Standardproduktionsmedium (Tabelle 3.7) verwendet. Variationen der Nährstoffquelle, des Glucosegehalts und zusätzliche Supplementierungen sind gesondert beschrieben. Alle Fermentationsversuche wurden mit 4 % Vorkultur ($OD_{605nm} = 0,2 - 0,4$) inokuliert. Die Inkubation beider Stämme erfolgte mit einem Kulturvolumen von 100 mL in 100 mL Kulturkolben in Erlenmeyerform bei 38 °C mit 0 rpm.

Tabelle 3.7: Zusammensetzung des Standardproduktionsmediums

Komponente	β
Glucose	100 ^A , 120 – 150 g/L ^B
Hefeextrakt Merck Fermtech®	10 g/L
Natriumacetat · 3 H ₂ O	2 g/L
MgSO ₄ · 7 H ₂ O	0,2 g/L
Spurenelementlösung:	aus Stammlösung 1 g/L
FeSO ₄ · 7 H ₂ O	10 mg/L
MnSO ₄ · H ₂ O	10 mg/L
NaCl	10 mg/L
CaCO ₃	60 g/L

^A *Sporolactobacillus putidus*; ^B *Sporolactobacillus inulinus*

Die pH-Werte der aufgeführten Medien wurden für *Sporolactobacillus inulinus* auf pH 6,2 und für *Sporolactobacillus putidus* auf pH 5,0 eingestellt. Hierfür wurden 1M HCl oder 1M

NaOH verwendet. Der pH-Wert der Spurenelementlösung wurde aufgrund der auftretenden Fällung von Eisenhydroxid nicht korrigiert. Sie wurde sterilfiltriert zum Medium gegeben.

Mit Calciumcarbonat gepufferte Kultivierungen von *Sporolactobacillus putidus* wurden zunächst ungepuffert für 24 h inkubiert und dann in einen Kulturkolben mit 60 g/L vorgelegtem Calciumcarbonat überführt, da der pH-Anstieg zu Beginn der Fermentation das Wachstum erschwerte. Bei Calciumcarbonat gepufferten Kultivierungen von *Sporolactobacillus inulinus* bestand dieses Problem aufgrund des höheren pH-Wachstumsbereichs nicht. In diesem Fall wurden 60 g/L Calciumcarbonat direkt im Kulturkolben vorgelegt.

Zur Vergleichbarkeit aller Versuche wurde stets eine Referenzkultur in Standardproduktionsmedium unter gleichen Bedingungen kultiviert.

3.3.6 Probennahme

Die Verdunstungsverluste wurden anhand der Gewichts Differenz ermittelt und vor jeder Probenahme durch Zugabe von Wasser ausgeglichen. Die entnommene Probe wurde bei 20 °C und 20.800 g für 10 min in einer Centrifuge 5417R (Eppendorf AG, Hamburg, Deutschland) zentrifugiert und der Überstand anschließend für die HPLC-RI-UV/Vis Analysen mit 50 mM H₂SO₄ 20-fach verdünnt. Die Messung des pH-Werts erfolgte nach Verdünnung der Proben im restlichen Überstand.

3.3.7 Variation der Nährstoffquelle

Ausgehend vom Standardproduktionsmedium wurde Merck Fermtech® Hefeextrakt durch die aufgeführten Hefeextrakte, kommerziell erhältlichen Hefeextraktersatzstoffe und chemisch hergestellten Rohstoffhydrolysate ersetzt (Tabelle 3.1, 3.2 und 3.3). Diese Nährstoffquellen wurden mit äquivalentem Gesamtstickstoffgehalt im Medium eingesetzt. Zudem wurde die angegebene Menge Phosphat durch Zugabe einer NaH₂PO₄-Lösung (16,4 g/L NaH₂PO₄ · 2H₂O, dies entspricht 10 g/L Phosphat) der Phosphatkonzentration im Standardproduktionsmedium mit Merck Fermtech® Hefeextrakt angepasst. Die gemessenen Gesamtstickstoffgehalte und die daraus resultierenden Konzentrationen im Medium sowie die Phosphatzugaben sind in Tabelle 3.4 aufgeführt.

3.3.8 Bestimmung der Einflussfaktoren auf die Produktivität durch Supplementierung verschiedener Stoffklassen

Zur Feststellung der Einflüsse einzelner Stoffklassen auf die Produktivität von *S. inulinus* wurde die Hefeextraktkonzentration im Standardproduktionsmedium auf 2 g/L gesenkt und mit den folgenden Kombinationen der in Tabelle 3.8 aufgeführten Stoffklassen entsprechend ihres Gehalts in den fehlenden 8 g/L Merck Fermtech® Hefeextrakt supplementiert:

1. Aminosäuren, Vitamine, Phosphat, pH 4,5
2. Aminosäuren, Vitamine, Ammoniumsulfat, pH 4,5
3. Vitamine, Ammoniumsulfat, pH 4,5
4. Aminosäuren, Vitamine, Ammoniumsulfat, pH 6,2
5. Aminosäuren, Phosphat, pH 6,2

Ammoniumsulfat wurde sowohl ergänzend zu den Aminosäuren, als auch anstelle von Aminosäuren eingesetzt. Zudem wurde der Einfluss des Start-pH-Werts durch Absenkung von 6,2 auf 4,5 untersucht. Es wurde eine Glucosestartkonzentration von 150 g/L eingesetzt.

Tabelle 3.8: Supplementierung verschiedener Stoffklassen, entsprechend ihrem Gehalt in 8 g/L Hefeextrakt

Stoffklasse	Komponente	β	Stoffklasse	Komponente	β
Aminosäuren	Alanin	156 mg/L		Histidin	44 mg/L
	Glycin	36 mg/L		Tyrosin	64 mg/L
	Valin	140 mg/L		Tryptophan	48 mg/L
	Leucin	236 mg/L	Vitamine	Thiamin·HCl	857 µg/L
	Isoleucin	96 mg/L		Riboflavin	396 µg/L
	Threonin	88 mg/L		Niacin	7,87 mg/L
	Serin	108 mg/L		Ca-Pantothenat	1,90 mg/L
	Prolin	44 mg/L		Pyridoxin·HCl	752 µg/L
	Asparagin	40 mg/L		Biotin	14,6 µg/L
	Asparaginsäure	68 mg/L		Folsäure	466 µg/L
	Methionin	48 mg/L		Cyanocobalamin	742 ng/L
	Glutaminsäure	360 mg/L		Inositol	46,8 µg/L
	Phenylalanin	140 mg/L	Ammoniumsalz	(NH ₄) ₂ SO ₄	2 g/L
	Glutamin	20 mg/L	Phosphat	NaH ₂ PO ₄	0,9 g/L
	Lysin	88 mg/L			

3.3.9 Fed-Batch mit Zugabe der metabolisierten Aminosäuren

Ausgehend vom Standardproduktionsmedium mit 120 g/L Glucose wurden im einstufigen Fed-Batch-Versuch nach 45 h Inkubationszeit neben 80 g/L Glucose und 60 g/L CaCO_3 die folgenden Aminosäuren hinzugegeben (Tabelle 3.9):

Tabelle 3.9: Im Fed-Batch-Versuch zugegebene Aminosäuren pro 100 mL Kulturvolumen

Aminosäure	Zugabe [mg]
Glycin	1,5
Valin	17,5
Leucin	29,5
Isoleucin	12
Threonin	14
Serin	10,5
Asparagin	5
Methionin	6
Glutaminsäure	28,5
Phenylalanin	16,5
Tyrosin	7
Tryptophan	3

Im zweistufigen Fed-Batch-Versuch wurden nach 44 h und 76 h Inkubationszeit jeweils 80 g/L Glucose, 60 g/L CaCO_3 sowie die in Tabelle 3.9 aufgeführten Aminosäuren zugefügt. Zusätzlich wurden die in Tabelle 3.10 angegebenen Mengen an Vitaminen am ersten bzw. an beiden Zugabezeitpunkten zugesetzt.

Tabelle 3.10: Im zweistufigen Fed-Batch-Versuch zugegebene Vitamine pro 100 mL Kulturvolumen

Vitamin	Zugabe [μg]
Thiamin-HCl	107
Riboflavin	49,5
Niacin	984
Ca-Pantothenat	237
Pyridoxin-HCl	93,9
Biotin	1,83
Folsäure	58,3
Cyanocobalamin	0,093
Inositol	5,84

3.3.10 Vollsynthetisches Medium

Basierend auf den Analyseenergebnissen des Merck Fermtech® Hefeextrakts wurde ein vollsynthetisches Medium mit folgender Zusammensetzung entwickelt (Tabelle 3.11):

Tabelle 3.11: Zusammensetzung vollsynthetisches Medium

Stoffklasse	Komponente	β	Stoffklasse	Komponente	β
Aminosäuren (von <i>S. inulinus</i> metabolisiert)	Glycin	45 mg/L	Vitamine	Niacin	9,84 mg/L
	Valin	175 mg/L		Ca-Pantothenat	2,37 mg/L
	Leucin	295 mg/L		Pyridoxin · HCl	939 µg/L
	Isoleucin	120 mg/L		Biotin	18,3 µg/L
	Threonin	110 mg/L		Inositol	58,4 µg/L
	Serin	135 mg/L		Folsäure (in 1 % Na ₂ CO ₃)	583 µg/L
	Asparagin	50 mg/L		Cyanocobalamin	927 ng/L
	Methionin	60 mg/L	Spurenelemente	KCl	167 mg/L
	Glutaminsäure	450 mg/L		MgSO ₄ · 7 H ₂ O	319 mg/L
	Phenylalanin	175 mg/L		NaCl	2,36 g/L
Aminosäuren (von <i>S. inulinus</i> nicht metabolisiert)	Tyrosin	80 mg/L		ZnSO ₄ · 7 H ₂ O	4,40 mg/L
	Tryptophan	60 mg/L		MnSO ₄ · H ₂ O	30,8 mg/L
	Alanin	195 mg/L		FeSO ₄ · 7 H ₂ O	49,8 mg/L
	Prolin	55 mg/L		(NH ₄) ₂ SO ₄	1,04 g/L
	Asparaginsäure	85 mg/L		KH ₂ PO ₄	795 mg/L
	Glutamin	25 mg/L	weitere	Glucose	110 g/L
Vitamine	Lysin	110 mg/L	Komponenten	Natriumacetat · 3 H ₂ O	2 g/L
	Histidin	55 mg/L		CaCO ₃	60 g/L
	Thiamin-HCl	1,07 mg/L			
	Riboflavin	495 µg/L			

3.3.11 Bestimmung des Einflusses der Einzelkomponenten in 96-Deepwell-Mikrotiterplatten

Aufgrund der hohen Probenanzahl wurden die Kultivierungen zur Bestimmung des Einflusses der Einzelkomponenten im Duetz System in 96-Deepwell-Mikrotiterplatten durchgeführt (siehe Abbildung 3.1 a). Das sterile CaCO₃ wurde als Suspension in der Glucose-Lösung in die Kavitäten dosiert und schließlich die restlichen Bestandteile des vollsynthetischen Mediums hinzugefügt. Da die Verdunstungsverluste in den äußeren Kavitäten der Platte am größten sind, wurden diese nur mit Wasser befüllt (siehe Abbildung 3.1 b). Die 96-Deepwell-

Mikrotiterplatten wurden mit einer Adhäsionsfolie aus Seide und dem Plattendeckel verschlossen und bei 38 °C und 0 rpm inkubiert.

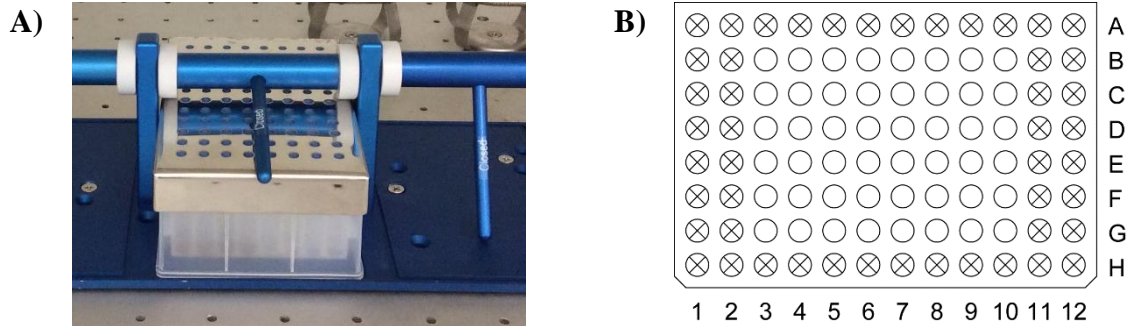


Abbildung 3.1: A) Duetz-System für 96-Deepwell-Mikrotiterplatten; B) Befüllungsschema der Mikrotiterplatten; ⊗ mit Wasser befüllte Kavitäten; ○ mit Medium befüllte Kavitäten

Da dennoch Verdunstungsverluste beobachtet wurden, sind die Ergebnisse nach Gleichung 1 entsprechend der Startkonzentration an Kohlenstoff bilanziert.

$$\beta_{\text{Lac}}^{\text{korrr}} = \frac{\beta_{\text{Lac}}^{\text{t}} \cdot \sum_{i=0}^n \frac{c_i^0}{v_i}}{\sum_{i=0}^n \frac{c_i^{\text{t}}}{v_i}} \quad (1)$$

i = Glucose, Lactat, Formiat, Acetat und Propionat

$\beta_{\text{Lac}}^{\text{korrr}}$ = korrigierte Massenkonzentration an Lactat [g/L]

$\beta_{\text{Lac}}^{\text{t}}$ = gemessene Massenkonzentration von Lactat [g/L] zum Zeitpunkt t

c_i^0 = Stoffmengenstartkonzentrationen von i [mol/L]

c_i^{t} = Stoffmengenkonzentrationen von i [mol/L] zum Zeitpunkt t

v_i = stöchiometrischer Koeffizient von i

Um den Einfluss der im vollsynthetischen Medium enthaltenen Einzelkomponenten zu untersuchen, wurde je eine Komponente aus dem Medium entfernt und die Lactatproduktion im Vergleich zum vollständigen vollsynthetischen Medium betrachtet. Im Falle der Kaliumreduktion wurden 701 mg/L NaH_2PO_4 statt KH_2PO_4 eingesetzt um den Phosphatgehalt einzustellen. Bei der Phosphatreduktion wurden hingegen 603 mg/L KCl verwendet um den Kaliumgehalt auszugleichen.

In einem weiteren Ansatz wurden dem vollsynthetischen Medium zusätzlich Nukleobasen, Nukleoside und Nukleotide in den in Tabelle 3.12 angegebenen Konzentrationen zugesetzt,

deren Einfluss auf die Lactatproduktion ebenfalls durch Subtraktion der einzelnen Komponenten verdeutlicht wurde.

Tabelle 3.12: Dem synthetischen Medium zugefügte Nukleobasen, Nukleoside und Nukleotide

Komponente	β [mg/L]
Adenin	1.150
Cytosin	200
Adenosin	350
Cytidin	500
Guanosin	2.000
Thymidin	250
Uridin	2.000
AMP	200
ADP	200
ATP	200
GMP	200

3.3.12 Einsatz der Rohstoffe ohne Vorbehandlung als Nährstoffquelle

Der Rohstoff wurde entsprechend seines Gesamtstickstoffgehalts (Tabelle 3.4) in eine 250 mL Schottflasche eingewogen, in ca. 50 mL Wasser suspendiert und mit 10 mL Phosphatlösung (10,0 g/L K_2HPO_4 und 12,1 g/L KH_2PO_4) sowie 668 μ L 10 %iger wässriger Ammoniaklösung versetzt. Die Suspension wurde auf pH 6,2 angesäuert und das Volumen anschließend mit Wasser auf 125 mL aufgefüllt. Für ein Kulturvolumen von 100 mL wurden 50 mL dieser Suspension als Nährstoffquelle im Standardproduktionsmedium eingesetzt.

3.3.13 Einsatz der enzymatischen Hydrolysate und Vollhydrolysate als Nährstoffquelle

Ausgehend vom Standardproduktionsmedium wurden statt Hefeextrakt 50 mL des enzymatischen Hydrolysats bzw. des Vollhydrolysats (Herstellung siehe 3.2.2 und 3.2.3) pro 100 mL Kulturvolumen eingesetzt. Da davon ausgegangen werden kann, dass sich die B-Vitamine während der chemischen Vollhydrolyse oxidativ zersetzen, wurden in diesem Fall die Vitamine, entsprechend ihrer Konzentration in 10 g/L Merck Fermtech® Hefeextrakt (siehe Tabelle 3.10), steriltfiltriert dem Medium hinzugefügt.

3.3.14 Simultane Hydrolyse und Fermentation von Rapsschrot

Es wurden 4,42 g Rapsschrot (entsprechend Gesamtstickstoffgehalt, Tabelle 3.4) in einer 250 mL Schottflasche in ca. 50 mL Wasser suspendiert und mit 10 mL Phosphatlösung (10,0 g/L K_2HPO_4 und 12,1 g/L KH_2PO_4) sowie 668 μ L 10 %iger wässriger Ammoniaklösung versetzt. Das Hydrolysat wurde auf pH 6,2 angesäuert und das Volumen anschließend mit Wasser auf 125 mL aufgefüllt. Nach dem Autoklavieren wurden 50 mL dieser Suspension als Nährstoffquelle im Standardproduktionsmedium für 100 mL Kulturvolumen eingesetzt. Zudem wurde bezogen auf den Proteingehalt 1 % Neutrase (Tabelle 3.5) hinzugegeben.

3.3.15 Optimierte D-Lactat Produktion mit Rapsschrot im Fed-Batch-Versuch

Es wurde eine Fed-Batch-Kultivierung mit 17,7 g/L Rapsschrot-Vollhydrolysat als Nährstoffquelle im Standardproduktionsmedium ausgehend von 120 g/L Glucose durchgeführt. Dabei wurde ein Ansatz mit Tryptophan und den gesamten Vitaminen supplementiert, während in einem zweiten Ansatz im Vergleich dazu nur die minimale Vitaminsupplementierung mit den Vitaminen B1 – B5 (Tabelle 3.13) erfolgte.

Tabelle 3.13: Gesamte und minimale Supplementierung mit Vitaminen und Tryptophan

Supplementierung	gesamt	minimal
Komponente	β	β
Thiamin-HCl	1,07 mg/L	1,07 mg/L
Riboflavin	495 μ g/L	495 μ g/L
Niacin	9,84 mg/L	9,84 mg/L
Ca-Pantothenat	2,37 mg/L	2,37 mg/L
Pyridoxin-HCl	939 μ g/L	–
Biotin	18,3 μ g/L	–
Folsäure	583 μ g/L	–
Cyanocobalamin	0,93 μ g/L	–
Inositol	584 μ g/L	–
Tryptophan	60 mg/L	–

Nach 40 h und 66 h wurden in beiden Ansätzen jeweils 8,85 g/L Rapsschrot-Vollhydrolysat, 80 g/L Glucose, 60 g/L $CaCO_3$ sowie die anfangs eingesetzten Menge an Vitaminen und Tryptophan bzw. der Vitamine B1 – B5 zugegeben (Tabelle 3.14).

Tabelle 3.14: Im zweistufigen Fed-Batch-Versuch mit Rapsschrot zugefügte Medienkomponenten

Supplementierung	Vitamine ges., Tryptophan	Vitamine B1 – B5
Komponente	β	β
Glucose	80 g/L	80 g/L
Rapsschrot-Vollhydrolysat	8,85 g/L	8,85 g/L
CaCO ₃	60 g/L	60 g/L
Thiamin·HCl	1,07 mg/L	1,07 mg/L
Riboflavin	495 µg/L	495 µg/L
Niacin	9,84 mg/L	9,84 mg/L
Ca-Pantothenat	2,37 mg/L	2,37 mg/L
Pyridoxin·HCl	939 µg/L	–
Biotin	18,3 µg/L	–
Folsäure	583 µg/L	–
Cyanocobalamin	0,93 µg/L	–
Inositol	584 µg/L	–
Tryptophan	60 mg/L	–

3.4 Analytische Methoden

3.4.1 Bestimmung der Trockenmasse und des Aschegehalts

Die Bestimmung der Trockenmasse wurde nach DIN EN 12880 und die Bestimmung des Aschegehalts nach DIN EN 12879 durchgeführt. Dazu wurde 1 g Probe (bei Flüssigkeiten 10 g Probe) in einen Porzellantiegel eingewogen und zunächst für 16 h bei 105 °C getrocknet. Nach dem Abkühlen im Exsikkator wurde die Trockenmasse ausgewogen. Danach wurde die Probe für 16 h bei 550 °C im Muffelofen verascht und anschließend der Aschegehalt ausgewogen.

3.4.2 Bestimmung des Gesamtstickstoffgehalts nach Kjeldahl

150 mg Probe wurden in einen Aufschlusskolben eingewogen. Anschließend wurden Siedesteinchen, Silicon-Entschäumer, eine Kjeltab S (5 g K₂SO₄, 5 mg Se) und schließlich 10 mL Schwefelsäure 96 % hinzugegeben. Aufgrund des hohen Stickstoffgehalts und der

starken Schaumbildung wurde der Aufschluss zunächst bei Raumtemperatur über Nacht ruhen gelassen bevor der thermische Aufschluss im Gerhardt Kjeldatherm® mit dem in Tab. 3.15 beschriebenen Temperaturprogramm durchgeführt wurde.

Tabelle 3.15: Temperaturprogramm des thermischen Aufschlusses nach Kjeldahl

Temperatur	Zeit
100 °C	30 min
200 °C	60 min
300 °C	60 min
420 °C	60 min
Raumtemperatur	30 min

In der aufgeschlossenen Probe liegt der Stickstoff als Ammoniumsulfat vor. Durch Zugabe von Natriumhydroxid bildet sich Ammoniak, der anhand einer Wasserdampfdestillation aus der Probe ausgetrieben und in eine definierte Menge 2 %ige Borsäure eingeleitet wurde. Durch Rücktitration mit 0,05 M H₂SO₄ zum Start-pH-Wert der Borsäure wurde die Menge an eingeleitetem Ammoniak bestimmt. Aus dem Titrationsvolumen lässt sich nach Gleichung 2 der Gesamtstickstoffgehalt berechnen:

$$\%N = \frac{V_{\text{H}_2\text{SO}_4}[\text{mL}]}{m_{\text{Probe}}[\text{g}] \cdot 1000} \cdot z \cdot c \cdot M(N) \cdot 100\% \quad (2)$$

$V_{\text{H}_2\text{SO}_4}$ = Titrationsvolumen der Maßlösung in mL

m_{Probe} = Menge an eingewogener Probe in g

z = stöchiometrische Wertigkeit, hier $z = 2$

c = Konzentration der Maßlösung, hier $c_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 0,05 \text{ mol/L}$

$M(N)$ = Molmasse von Stickstoff=14,007 g/mol

Die Destillation und Titration wurden in einem Gerhardt Vapodest durchgeführt.

3.4.3 Kohlenhydratanalytik

3.4.3.1 Bestimmung des Gesamtkohlenhydratgehalts

Anthranon-Reagenz: 1,0 g/L Anthranon
in Schwefelsäure 85% lösen und auf 4 °C kühlen

Zur Bestimmung des Gesamtkohlenhydratgehalts nach Anleitung der Mitteleuropäischen Brautechnischen Analysenkommission (MEBAK)^[108] wurden in einem verschließbaren 15 mL PP-Zentrifugenröhrchen 3 mL Probe (Verdünnung je nach Kohlenhydratgehalt auf $\beta = 0,25 - 1,0$ g/L) vorgelegt und auf 4 °C gekühlt. Anschließend wurden 10 mL gekühltes Anthranon-Reagenz zugegeben, durchmischt und für 20 min bei 95 °C im Wasserbad erhitzt. Danach wurde die Reaktion durch schnelles Abkühlen im Eisbad auf etwa 20 °C gestoppt und anschließend die Absorption bei 620 nm gemessen. Als Referenz diente ein Reagenzienblindwert, der durch Reaktion von 3 mL Wasser als Probe erhalten wurde.

Kalibriert wurde mit wässrigen Glucosestandards ($\beta = 10 - 150$ mg/L), die ebenfalls nach dieser Methode derivatisiert wurden.

3.4.3.2 Bestimmung des Gehalts an reduzierenden Zuckern

Dinitrosalicylsäure-Reagenz: 300 g Kalium-Natriumtartrat · 4 H₂O
 10 g 3,5-Dinitrosalicylsäure
 16 g Natriumhydroxid
Kalium-Natriumtartrat und 3,5-Dinitrosalicyl-säure in
800 mL Wasser lösen, NaOH darin lösen und auf 1 L
auffüllen.

Nach der Methode von Miller^[109] wurde in einem verschließbaren 15 mL PP-Zentrifugenröhrchen 1 mL Probe (Verdünnung je nach Kohlenhydratgehalt auf $\beta = 3 - 10$ g/L) bzw. 1 mL Wasser für den Reagenzienblindwert vorgelegt, 2 mL Dinitrosalicylsäure-Reagenz zugegeben und durchmischt. Die Probe wurde für 15 min bei 95 °C im Wasserbad erhitzt, danach 5 min im Eisbad gekühlt und anschließend weitere 10 min bei Raumtemperatur stehen gelassen. Die Probe wurde dann erneut durchmischt und die Absorption bei 546 nm gemessen.

Kalibriert wurde mit wässrigen Glucosestandards ($\beta = 0,1 - 1$ g/L), die ebenfalls nach dieser Methode derivatisiert wurden.

3.4.3.3 Bestimmung der Kohlenhydrate nach der NREL-Methode

Poly- und Oligosaccharide wurden bei einem Aufschluss nach Vorschrift von Sluiter *et al.* des National Renewable Energy Laboratory (NREL) zur Bestimmung von Strukturkohlenhydraten und Lignin in Biomasse zu freien Kohlenhydraten hydrolysiert.^[110]

300 mg Probe wurden in eine 100 mL Schottflasche eingewogen, mit 3 mL 72 %iger Schwefelsäure versetzt und für 60 min bei 30 °C im Wasserbad erwärmt. Währenddessen wurde die Probe jede 5 min durchmischt. Anschließend wurde die Probe mit 84 mL Wasser verdünnt und bei 121 °C für 60 min autoklaviert. Nach dem Abkühlen wurden 5 mL dieser Probe entnommen, mit 1 M NaOH auf pH 7 titriert und das Probenvolumen im Messkolben auf 50 mL aufgefüllt. Die Analyse dieser Probe erfolgte anschließend mittels High-performance anion-exchange chromatography mit gepulster amperometrischer Detektion (HPAEC-PAD) (Kap. 3.5.4).

Die freien Kohlenhydrate wurden in einer Probenlösung ($\beta = 100 \text{ mg/L}$) nach Sterilfiltration durch einen Spritzenfilter 0,22 μm CME ebenfalls mittels HPAEC-PAD quantifiziert.

3.4.4 Protein- und Aminosäureanalytik

3.4.4.1 Bestimmung des freien Aminostickstoffgehalts

Ninhydrin-Lösung:	5,0 g	NaHPO ₄ · 2H ₂ O
	6,0 g	KH ₂ PO ₄
	500 mg	Ninhydrin
	300 mg	Fructose

In Wasser lösen, den pH-Wert auf 6,6 – 6,8 einstellen und das Volumen auf 100 mL auffüllen

Kaliumiodat-Lösung:	1,0 g	Kaliumiodat
	300 mL	Wasser
	200 mL	Ethanol 96%

Kaliumiodat im Wasser lösen, anschließend Ethanol hinzugeben.

Nach MEBAK^[108] wurden 2 mL Probe ($\beta = 100$ mg/L) in einem verschließbaren 15 mL PP-Zentrifugenröhrchen mit 1 mL Ninhydrinlösung versetzt, durchmischt und für 16 min im siedenden Wasserbad erhitzt. Danach wurde die Probe in einem auf 20 °C temperierten Wasserbad über 20 min abgekühlt. Anschließend wurden 5 mL Kaliumiodat-Lösung zugegeben und nach weiteren 3 min Reaktionszeit bei Raumtemperatur die Absorption bei 570 nm gemessen.

Zur Korrektur wurde der Reagenzienblindwert, der durch Derivatisierung von 2 mL Wasser bestimmt wurde, subtrahiert.

Die Kalibrierung wurde in gleicher Weise mit wässrigen Glycinstandards durchgeführt ($\beta = 10,73$ mg/L – 53,65 mg/L Glycin, dies entspricht 1 – 5 mg/L Aminostickstoff).

3.4.4.2 Totalhydrolyse der Proteine

Um neben den freien auch die proteingebundenen Aminosäuren zu erfassen, wurden die Proteine vor der Analyse hydrolysiert. Fountoulakis und Lahm geben eine Übersicht über Methoden zur Totalhydrolyse von Proteinen zur Bestimmung deren Aminosäurekomposition.^[111] Flüssige Proben wurden vor der Hydrolyse lyophilisiert (Alpha 1-2 LD, Martin Christ Gefriertrocknungsanlagen GmbH, Osterode am Harz, Deutschland).

50 mg Probe wurden in ein GC-Headspace-Vial (mit konz. HCl und Wasser gereinigt) eingewogen, mit 1 mL 6 M HCl + 0,02 % Phenol versetzt und das Vial mit Septum verschlossen. Die Probe wurde in flüssigem Stickstoff eingefroren, das Vial vakuumiert ($< 0,1$ mbar) und anschließend für 48 h auf 110 °C erhitzt. Danach wurden die Proben im Messkolben auf 100 mL verdünnt und zur Bestimmung der Aminosäuren etwa 1 mL durch einen Spritzenfilter 0,22 μ m CME filtriert.

3.4.4.3 Bestimmung der freien Aminosäuren

Die freien Aminosäuren wurden sowohl in den aufgeschlossenen Proben als auch den nicht-aufgeschlossenen Proben ($\beta = 1$ g/L) nach einer Derivatisierung mittels Gaschromatographie mit Flammenionisationsdetektor (GC-FID) bestimmt.

Zur Derivatisierung der Aminosäuren in unpolarere, leichter flüchtige Verbindungen wurde der EZ:faast™ GC-FID Physiological, Amino Acid Analysis Kit der Firma Phenomenex (Torrance, USA) verwendet. Die Durchführung erfolgte nach Anleitung des Herstellers. Die Proben wurden zunächst entsprechend des Messbereichs von 50 – 200 nmol/mL verdünnt, mit dem internen Standard Norvalin versetzt und mittels Festphasenextraktion aufgereinigt. Dabei wurden die Aminosäuren selektiv an der Festphase adsorbiert und andere störende Medienbestandteile abgetrennt. Anschließend wurden die Aminosäuren mit einem Gemisch aus NaOH, *n*-Propanol und 3-Methylpyridin eluiert. Durch Zugabe von *n*-Propylchlorformiat in Chloroform erfolgte eine Veresterung der Carboxyl- und Aminofunktionalitäten, katalysiert durch 3-Methylpyridin (Abb. 3.2).^[112] Die auf diese Weise derivatisierten Aminosäuren wurden mit einem Gemisch aus Chloroform und *iso*-Oktan extrahiert und innerhalb von 24 h mittels Gaschromatographie analysiert.

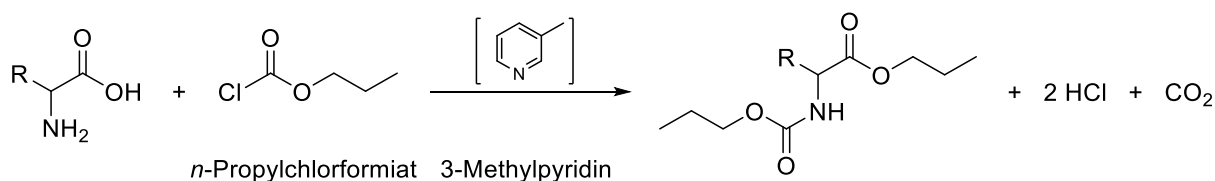


Abbildung 3.2: Reaktionsgleichung der Aminosäurederivatisierung mit dem EZ:faast™ GC-FID Physiological, Amino Acid Analysis Kit der Firma Phenomenex (Torrance, USA)

3.4.5 Bestimmung der Fettsäuren

Veresterungslösung:	30 mL	Methanol
	3 mL	Chloroform
	1 mL	Schwefelsäure konz.

Die Veresterung der Fettsäuren zu Fettsäuremethylestern (Fatty acid methylester, FAME) wurde nach der von Lewis *et al.* modifizierten Methode durchgeführt.^[113] 50 mg Probe wurden in ein sealed tube eingewogen und 100 µL Heneicosansäure (2,9 g/L gelöst in Chloroform) als interner Standard hinzugefügt. Die Probe wurde mit 3 mL Veresterungslösung versetzt, fest verschlossen und im Wasserbad für 90 min auf 90 °C erhitzt. Nach dem Abkühlen auf Raumtemperatur wurde 1 mL Wasser zugegeben und

durchmischt. Die Fettsäuremethylester wurden anschließend zweimal mit 1,5 mL Hexan:Chloroform 4:1 extrahiert, die organische Phase über Natriumsulfat getrocknet und mittels GC-MS analysiert.

3.4.6 Bestimmung der B-Vitamine

Die Bestimmung der B-Vitamine erfolgte mit den folgenden VitaFast®-Mikrotiterplatten-Tests der R-Biopharm AG (Darmstadt, Deutschland):

VitaFast® Vitamin B1 (Thiamin), VitaFast® Vitamin B2 (Riboflavin) AOAC-RI 100902, VitaFast® Vitamin B3 (Niacin), VitaFast® Pantothersäure AOAC-RI 100904, VitaFast® Vitamin B6 (Pyridoxin), VitaFast® Vitamin B7 (Biotin) AOAC-RI 101001, VitaFast® Folsäure AOAC-RI 100903, VitaFast® Vitamin B12 (Cyanocobalamin) AOAC-RI 101002 und VitaFast® Inositol.

Nach der Inkubation wurde die Absorption auf den Mikrotiterplatten an einem Elx808 Mikrotiterplattenreader der Firma BioTek® Instruments, Inc., Winooski, USA bestimmt und mit der Software RIDA®SOFT Win.net der Firma R-Biopharm AG (Darmstadt, Deutschland) ausgewertet.

3.4.7 Bestimmung der Polyphenole

3.4.7.1 Bestimmung des Gesamtphenolgehalts nach MEBAK

CMC-EDTA-Lösung:	10 g/L	Carboxymethylcellulose
	2,0 g/L	EDTA-Na ₂
		in Wasser lösen
Eisen(III)-Lösung:	3,1 %	Ammoniumeisen(III)citrat in H ₂ O
Ammoniak-Lösung:	25 mL	Ammoniak 25 %
	50 mL	Wasser

Nach MEBAK^[108] wurden 5 mL Probe ($\beta = 10$ g/L) mit 4 mL CMC-EDTA-Lösung, 250 μ L Ammoniumeisen(III)-citrat-Lösung, 250 μ L Ammoniak-Lösung und 3 mL Wasser versetzt und nach jeder Zugabe gut durchmischt. Nach 10 min Reaktionszeit bei Raumtemperatur wurde die Absorption bei 600 nm gemessen und die Absorption des Probenblindwerts subtrahiert.

Der Probenblindwert wurde durch Zugabe von 4 mL CMC-EDTA-Lösung, 250 μ L Ammoniak-Lösung und 3,25 mL Wasser zu 5 mL Probe nach 10 min Reaktionszeit bei Raumtemperatur erhalten.

Für die Kalibrierung wurden Catechinstandards ($\beta = 10 - 200$ mg/L in Wasser) auf gleiche Weise wie die Probe gehandhabt. Das Ergebnis wurde als mg/L Catechinäquivalent angegeben.

3.4.7.2 Bestimmung der Gesamtpolyphenole nach Folin-Ciocalteu

Die Bestimmung der Gesamtpolyphenole nach Folin-Ciocalteu wurden im Mikrotiterplattenmaßstab durchgeführt.^[114] Dazu wurden 20 μ L Probe (Verdünnung je nach Gesamtpolyphenolgehalt auf $\beta = 1 - 10$ g/L) mit 100 μ L Folin-Ciocalteu-Reagenz (1:10 mit Wasser verdünnt) vermischt. Nach 5 min bei Raumtemperatur wurden 75 μ L NaHCO₃-Lösung (60 g/L) zupipettiert und nach einer Reaktionszeit von weiteren 2 h bei Raumtemperatur im Dunkeln wurde die Absorption bei 740 nm gemessen. Die Kalibrierung erfolgte mit Gallussäure (10 – 150 mg/L). Das Ergebnis wurde als mg/L Gallussäureäquivalent angegeben.

Zum Auslesen der Mikrotiterplatte wurde ein FLUOstar Omega der Firma BMG Labtech (Ortenberg, Deutschland) verwendet und die Daten wurden mit der dazugehörigen Software Omega Control und Omega Data Analysis gemessen und ausgewertet.

3.4.7.3 Bestimmung der Flavonoide

Färbereagenz: 1,0 g/L 4-(Dimethylamino)-zimtaldehyd
In einer Lösung aus 125 ml Salzsäure 37 % und 350 mL Methanol lösen und anschließend das Volumen mit Methanol auf 1 L auffüllen.

In Anlehnung an Zironi, Buiatti und Zelotti^[115] wurde 1 mL Probe ($\beta = 10$ g/L) mit 5 mL Färbereagenz versetzt und durchmischt. Nach einer Reaktionszeit von 10 min bei Raumtemperatur wurde die Absorption bei 640 nm gegen den Reagenzienblindwert gemessen.

Der Reagenzienblindwert wurde durch Reaktion von 1 mL Wasser als Probe erhalten.

Die Kalibrierung wurde mit wässrigen Catechinstandards ($\beta = 2 - 30$ mg/L) durchgeführt, die nach gleicher Methode derivatisiert wurden. Das Ergebnis wurde als mg/L Catechinäquivalent angegeben.

3.5 Instrumentelle Analytik

3.5.1 Allgemeine Arbeitsweise

Für die Herstellung der Eluenten wurde Reinstwasser (Millipore, Milli Qplus 185) verwendet. Durch regelmäßige Kalibrierungen wurde die Richtigkeit der Ergebnisse gesichert und die Chromatogramme durch Integration der Peaks quantitativ ausgewertet. Bei HPLC-RI-UV/Vis-Analysen wurden dazu stets die Daten des Refractive index (RI) Detektors herangezogen.

3.5.2 HPLC-RI-UV/Vis

Die Substratkonzentration und die Konzentration der Fermentationsprodukte aus den durchgeführten Kultivierungen wurden mittels High-performance liquid chromatography (HPLC) gekoppelt mit Refractive index (RI) detector und UV/Vis detector qualitativ und quantitativ analysiert. Dazu standen zwei HPLC-Systeme zur Verfügung, deren Konfiguration in den Tabellen 3.16 und 3.17 dargestellt ist. Die Betriebsparameter (Tabelle 3.18) wurden auf beiden Systemen beibehalten. Als Trennsäule wurde die Aminex® HPX-87H verwendet, die als stationäre Phase eine sulfonierte Polystyrol-Divinylbenzol-Matrix als Anionentauscherharz nutzt. An diesem werden isokratisch mit 5 mM H₂SO₄ als mobile Phase Kohlenhydrate, organische Säuren, Alkohole und Ketone durch eine Kombination aus Ionenaustausch und Größenausschluss aufgetrennt.

Tabelle 3.16: Konfiguration von HPLC-System 1

Modul	Typ	Hersteller
Autosampler	Dionex™ ICS-5000: AS-AP	Thermo Fisher Scientific, Inc., Sunnyvale, USA
Pumpe	Dionex™ ICS-5000: DP	Thermo Fisher Scientific, Inc., Sunnyvale, USA
Säulenofen	Dionex™ ICS-5000: TC	Thermo Fisher Scientific, Inc., Sunnyvale, USA
Vorsäule	Security Guard Carbo H ⁺	Phenomenex, Torrance, USA
Säule	Aminex® HPX-87H	Bio-Rad, Hercules, USA
RI-Detektor	RI-101	Shodex, Tokyo, Japan
PDA-Detektor	Dionex™ ICS-5000: PDA	Thermo Fisher Scientific, Inc., Sunnyvale, USA
Software	Chromeleon 7	Thermo Fisher Scientific, Inc., Sunnyvale, USA

Tabelle 3.17: Konfiguration von HPLC-System 2

Modul	Typ	Hersteller
Autosampler	Basic Marathon	Spark Holland B. V., Emmen, Niederlande
Solvent Organizer	K-1500	Knauer GmbH, Berlin, Deutschland
Degasser	ERC-3215α	ERC Inc., Kawaguchi, Japan
Pumpe	K-1001	Knauer GmbH, Berlin, Deutschland
Ofen	Jetstream 2 plus	Thermotechnic Products, Langenzersdorf, Österreich
Säule	Aminex® HPX-87H	Bio-Rad, Hercules, California, USA
PDA-Detektor	K-2800	Knauer GmbH, Berlin, Deutschland
RI-Detektor	K-2301	Knauer GmbH, Berlin, Deutschland
Software	Clarity 5.0.2.612	DataApex, Prag, Tschechien

Tabelle 3.18: Betriebsparameter der HPLC-Systeme zur quantitativen Bestimmung der Glucose und der Fermentationsprodukte

	Betriebsparameter
Eluent	5 mM H ₂ SO ₄
Flussrate	0,7 mL/min
Temperatur	60 °C
Wellenlänge UV/Vis	210 nm
Aufgegebenes Probenvolumen	System 1: 25 µL System 2: 20 µL
Laufzeit	30 min

Die bei dem Aufschluss der Kohlenhydrate entstehenden Abbauprodukte Formiat, Acetat, Lävulinsäure, Hydroxymethylfurfural und Furfural wurden ebenfalls an System 1 mit den gegebenen Betriebsparametern (Tabelle 3.18) bei einer Laufzeit von 40 min bestimmt.

3.5.3 Chirale HPLC-RI-UV/Vis

Die beiden Enantiomere L- und D-Lactat wurden mittels HPLC (Konfiguration siehe Tabelle 3.19) mit einer isokratischen Messmethode (Tabelle 3.20) an einer chiralen Säule mit N,S-Dioctyl-(D)-penicillamin als stationäre Phase getrennt.

Tabelle 3.19: Konfiguration der HPLC zur chiralen Lactatbestimmung

Modul	Typ	Hersteller
Autosampler	Basic Marathon	Spark Holland B. V., Emmen, Niederlande
Degasser	Elite Degassing System	Alltech GmbH, Haching, Deutschland
Pumpe	K-501	Knauer GmbH, Berlin, Deutschland
Ofen	BFO-04	W.O. electronics, Langenzersdorf, Österreich
Säule	Chirex® 3126 D-Penicillamin, 150 x 4,6 mm	Phenomenex, Torrance, USA
UV-Detektor	LKB Bromma 2151	LKB, Bromma, Schweden
RI-Detektor	K-2301	Knauer GmbH, Berlin, Deutschland
Software	EZChrom Elite	Agilent, Santa Clara, USA

Tabelle 3.20: Betriebsparameter zur chiralen Lactatbestimmung

Betriebsparameter	
Eluent	2 mM CuSO ₄
Flussrate	1 mL/min
Temperatur	RT
Wellenlänge UV/Vis	210 nm
Aufgegebenes Probenvolumen	20 µL
Laufzeit	30 min

Das Enantiomerenüberschuss (%ee) an D-Lactat wurde nach Gleichung 3 aus den erhaltenen L- und D-Lactatkonzentrationen berechnet.

$$\%ee = \frac{|\beta_1 - \beta_2|}{\beta_1 + \beta_2} \cdot 100 \quad (3)$$

β_1 = Massenkonzentration von D-Lactat

β_2 = Massenkonzentration von L-Lactat

3.5.4 HPAEC-PAD

Die Analyse der verschiedenen Kohlenhydrate (frei und nach Aufschluss) erfolgte mittels High-performance anion-exchange chromatography (HPAEC) gekoppelt mit gepulster amperometrischer Detektion (PAD). Die PAD ist eine Detektionsmethode mit einer Sensitivität von pico- und femtomol, bei der der Analyt an einer Goldelektrode oxidiert wurde und damit einen messbaren Stromfluss erzeugt. Nach der Oxidation an der Elektrodenoberfläche folgt in einer Pulssequenz die Reduktion und Freisetzung des Analyten von der Oberfläche und die Reoxidation, um die Oberfläche zu erneuern.^[116]

Die Trennung der Kohlenhydrate wurde mit einem Gradienten der Eluentzusammensetzung entsprechend Tabelle 3.21 erreicht. Die Eluenten wurden mit Helium begast und unter Helium-Atmosphäre gelagert, um die Bildung von Natriumcarbonat zu verhindern. Gemessen wurde mit den in Tabelle 3.22 aufgeführten Betriebsparametern und der in Tabelle 3.23 dargestellten Systemkonfiguration.

Tabelle 3.21: Gradient der Laufmittelzusammensetzung zur Kohlenhydratbestimmung mittels HPAEC-PAD

Zeit	A Wasser	B 10 mM NaOH	C 200 mM NaOH	D 25 mM NaOH + 1 M NaOAc
0-36 min	50 %	50 %	–	–
38 min	50 %	–	50 %	–
48 min	20 %	–	50 %	30 %
51 min	–	–	40 %	60 %
51,5 min	–	–	100 %	–
58 min	–	–	100 %	–
63 min	50 %	50 %	–	–
63-73 min	50 %	50 %	–	–

Tabelle 3.22: Betriebsparameter der HPAEC-PAD zur Bestimmung der Kohlenhydrate

	Betriebsparameter
Eluent	Multi-Step Gradient
Flussrate	0,3 mL/min
Temperatur	30 °C
PA-Detektor	Std. quad. potential
Aufgegebenes Probenvolumen	10 µL
Laufzeit	73 min

Tabelle 3.23: Systemkonfiguration der HPAEC-PAD

Modul	Typ	Hersteller
Autosampler	Dionex™ ICS-5000: AS-AP	Thermo Fisher Scientific, Inc., Sunnyvale, USA
Pumpe	Dionex™ ICS-5000: DP	Thermo Fisher Scientific, Inc., Sunnyvale, USA
Säulenofen	Dionex™ ICS-5000: DC	Thermo Fisher Scientific, Inc., Sunnyvale, USA
Vorsäule	Dionex™ Carbowac PA20, 3 x 30 mm Guard	Thermo Fisher Scientific, Inc., Sunnyvale, USA
Säule	Dionex™ Carbowac PA20, 3 x 150 mm	Thermo Fisher Scientific, Inc., Sunnyvale, USA
Detektor	Dionex™ ICS-5000: ED Gold Standard PAD mit pH-Elektrode	Thermo Fisher Scientific, Inc., Sunnyvale, USA
Software	Chromeleon 7	Thermo Fisher Scientific, Inc., Sunnyvale, USA

3.5.5 GC-FID

Die Analyse der derivatisierten freien Aminosäuren wurde mittels Gaschromatographie (GC) mit Flammenionisationsdetektor (FID) (Tabelle 3.24) durchgeführt. Dazu wurden die in Tabelle 3.25 gelisteten Betriebsparameter eingestellt. Die Kalibrierung erfolgte mit den im EZ:faast-Kit enthaltenen Aminosäurestandards, die zuvor auf gleiche Weise derivatisiert wurden (siehe Kap. 3.4.4.3).

Tabelle 3.24: Systemkonfiguration des GC-FID

Modul	Typ	Hersteller
Gaschromatograph mit FID	GC-17A	Shimadzu, Kyoto, Japan
Autosampler	AOC-20i	Shimadzu, Kyoto, Japan
Säule	Zebtron™ ZB-AAA 10 m x 0,25 mm ID, 0,25 µm Filmdicke	Phenomenex, Torrance, USA
Software	LabSolutions	Shimadzu, Kyoto, Japan

Tabelle 3.25: Betriebsparameter des GC-FID zur Bestimmung der freien Aminosäuren

Betriebsparameter			
Trägergas	H ₂ , 2,15 mL/min		
Injektionstemperatur	300 °C		
Injektionsvolumen	2,0 µL		
Injektionsart	Split 1:15		
Temperaturgradient	Heizrate	Temperatur	Halten
		110 °C	
	20 °C/min	250 °C	
	10 °C/min	320 °C	1 min
FID-Temperatur	340 °C		

3.5.6 GC-MS

Die nach der Derivatisierung der Proben extrahierten Fettsäuremethylester wurden mittels Gaschromatographie gekoppelt mit Massenspektrometrie (Tabelle 3.26) qualitativ und quantitativ bestimmt. Die Parameter der Messmethode sind in Tabelle 3.27 aufgeführt. Die Fettsäuremethylester wurden mit dem Supelco® 37 Compound FAME Mix (Sigma Aldrich, St. Louis, USA) durch einen Abgleich der Massenspektren mit der NIST-Datenbank (National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, USA) identifiziert und kalibriert.

Tabelle 3.26: Systemkonfiguration des GC/MS

Modul	Typ	Hersteller
Gaschromatograph	GC-17A	Shimadzu, Kyoto, Japan
Autoinjector	AOC-5000	Shimadzu, Kyoto, Japan
Säule	Zebtron™ ZB-WAX plus 60 m x 0,25 mm ID, 0,25 µm Filmdicke	Phenomenex, Torrance, USA
Massendetektor	GCMS-QP5050A	Shimadzu, Kyoto, Japan
Software	GCMSSolutions	Shimadzu, Kyoto, Japan

Tabelle 3.27: Betriebsparameter des GC/MS zur FAME-Bestimmung

Betriebsparameter			
Trärgas	He, 1,4 mL/min		
Injektionstemperatur	250 °C		
Injektionsvolumen	1,0 µL		
Injektionsart	Split 1:52		
Temperaturgradient	Heizrate	Temperatur	Halten
		60 °C	
	30 °C/min	150 °C	
	13 °C/min	240 °C	30 min
	40 °C/min	255 °C	5 min
Interface Temperatur	255 °C		
Massendetektion im Scan-Modus	4,4 min – 45 min; 50 – 400 m/z		
Scanspeed	1000 amu/s		

3.5.7 IC

Die löslichen Kationen und Anionen wurden an einem Dionex™ ICS-1000 Ionenchromatographie-System (Thermo Fisher Scientific, Inc., Sunnyvale, USA) gemessen. Dieses besteht aus dem Autosampler AS40, zwei Probenschleifen, Pumpen, Suppressoren und Leitfähigkeitsdetektoren, die die duale Bestimmung von Kationen und Anionen ermöglichen.

Die Proben wurden dazu in Dionex™ 5 mL Polyvials (Thermo Fisher Scientific, Inc., Sunnyvale, USA) auf $\beta = 400$ mg/L verdünnt und mit dem Filtercap verschlossen. Dadurch wurde die Probe vor der Injektion automatisch filtriert. Die Kalibrierung erfolgte mit Anionen- und Kationenmehrelementstandards für die Ionenchromatographie (Carl Roth

GmbH + Co. KG, Karlsruhe, Deutschland). Für die Messung der löslichen Ionen wurden die in Tabelle 3.28 aufgeführten Betriebsparameter angewandt.

Für die Auswertung wurde die Software Chromeleon 7 (Thermo Fisher Scientific, Inc., Sunnyvale, USA) genutzt.

Tabelle 3.28: Betriebsparameter des IC-Systems zur Bestimmung löslicher Ionen

	Betriebsparameter Kationen	Betriebsparameter Anionen
Vorsäule	Dionex™ IonPac CG16 5 x 50 mm	Dionex™ IonPac AG11-HC, 4 x 50 mm
Säule	Dionex™ IonPac CS16 250 x 5 mm	Dionex™ IonPac AS11-HC, 250 x 4 mm
Temperatur	60 °C	RT
Eluent	36 mm Methylsulfonsäure	25 mm NaOH
Flussrate	1 mL/min	1 mL/min
Probenvolumen	25 µL	25 µL
Suppressorstrom	106 mA	62 mA
Suppressortyp	CSRS 300 4 mm	ASRS 300 4 mm

3.5.8 ICP-OES

3.5.8.1 Probenvorbereitung mittels Mikrowellenaufschluss

Um die in den Proben enthaltenen Salze und Spurenelemente in eine lösliche Form zu bringen und die störende organische Matrix zu zerstören, wurden die Proben vor der Messung in einer Mars Xpress Mikrowelle der Firma CEM (Kamp-Lintfort, Deutschland) aufgeschlossen.

Es wurden 500 mg Probe in ein PTFE-Aufschlussvial eingewogen. Flüssigkeiten wurden an einer Alpha 1-2 LD (Martin Christ Gefriertrocknungsanlagen GmbH, Osterode am Harz, Deutschland) lyophilisiert. Die Probe wurde mit 6 mL konz. HNO₃ Suprapur versetzt und über Nacht bei Raumtemperatur stehen gelassen. Danach wurden 2 mL Wasserstoffperoxid Suprapur hinzugegeben und nach weiteren 30 min bei Raumtemperatur der Aufschluss gestartet. In dem verwendeten Temperaturprogramm wurde die Probe über 15 min auf 190 °C erhitzt und die Temperatur für weitere 15 min gehalten. Nach dem Abkühlen wurde die Probe in einen Messkolben aus PMP überführt, verdünnt und mittels optischer Emissionsspektroskopie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-OES) analysiert.

3.5.8.2 Bestimmung der Spurenelemente mit ICP-OES

Bei der ICP-OES-Messung wurden die Ionen in einem Argonplasma atomisiert und emittieren bei der Wiederaufnahme von Elektronen elementspezifische Wellenlängen, die mit einer CCD-Kamera erfasst wurden. Für die Messungen wurde ein iCAP 6300 Duo der Firma Thermo Fisher Scientific, Inc. (Sunnyvale, USA) genutzt, mit dem sowohl eine axiale als auch radiale Messung möglich ist. Als Spülgas wurde Stickstoff 5.0 und als Plasmagas Argon 4.8 verwendet. Die Plasmaeinstellungen sind in Tabelle 3.29 dargestellt.

Tabelle 3.29: Plasmaeinstellungen der ICP-OES zur Bestimmung der Spurenelemente

	UV	Vis
Plasmaleistung	1350 W	1150 W
Zerstäbergasstrom	0,5 L/min	0,65 L/min
Hilfsgasstrom	0,5 L/min	
Spülpumprate	50 U/min	
Analysenpumprate	50 U/min	
Stabilisierungszeit	5 s	

Die Integrationszeiten der Analyse betrugen im niedrigen Wellenlängenbereich 55 s für die axiale und 45 s für die radiale Messung. Im hohen Wellenlängenbereich lagen die Integrationszeiten bei 25 s axial und 20 s radial. Die Kalibrierung erfolgte mit einem Mehrelementstandard (28 Elemente zusätzlich Schwefel, Phosphor und Wolfram, Carl Roth GmbH + Co. KG, Karlsruhe, Deutschland) für einen Konzentrationsbereich von 0,01 – 10 mg/L.

Die Elemente Calcium, Kalium, Magnesium, Natrium, Phosphor und Schwefel wurden aufgrund ihrer hohen Konzentrationen in den Proben in einer zweiten Methode gemessen, die für einen Konzentrationsbereich von 0,5 – 20 mg/L kalibriert wurde und Integrationszeiten von 15 s axial und 15 s radial im niedrigen Wellenlängenbereich und 5 s axial und 10 s radial für den hohen Wellenlängenbereich besitzt.

Die für die Quantifizierung der verschiedenen Elemente herangezogenen Wellenlängen und der Messmodus sind in Tabelle 3.30 aufgeführt.

Tabelle 3.30: Mittels ICP-OES bestimmte Elemente und die dafür verwendeten Wellenlängen und Messmodi

Element	λ [nm]	Messmodus	Element	λ [nm]	Messmodus
Ag	328,068	axial	Mn	293,930	axial
Al	396,152	radial	Mo	202,030	axial
As	189,042	axial	Na	589,592	radial
B	249,773	axial	Ni	231,604	axial
Ba	455,403	radial	P	177,495	axial
Be	234,861	radial	Pb	220,353	axial
Bi	223,061	axial	S	182,034	axial
Ca	422,673	radial	Sb	217,581	axial
Cd	214,438	axial	Se	203,985	axial
Co	228,616	axial	Sr	407,771	radial
Cr	267,716	axial	Ti	337,280	axial
Cu	324,754	axial	Tl	190,856	axial
Fe	259,940	axial	V	292,464	axial
K	766,490	radial	W	239,709	axial
Li	670,784	radial	Zn	206,200	axial
Mg	280,270	radial			

3.5.9 UV/Vis-Spektroskopie

Zur Bestimmung der optischen Dichte bei 605 nm und zur quantitativen Bestimmung der Flavonoide, der Polyphenole (nach MEBAK), der reduzierenden Zucker, des Aminostickstoff- und des Gesamtkohlenhydratgehalts wurden die Absorptionen an einem T80 UV/Vis-Spektrometer der Firma PG Instruments Ltd. (Leicester, UK) bei der jeweils angegebenen Wellenlänge gemessen. Zur Messung und Auswertung der Daten wurde die Software UVWin 5 (PG Instruments Ltd., Leicester, UK) verwendet.

3.6 Datenauswertung

Für die Datenauswertung wurde die Software OriginPro 2015G verwendet.

Die angegebenen Ausbeuten und Selektivitäten sind folgendermaßen definiert (Gleichung 4 und 5):

Ausbeute:

$$Y_t^{\text{Lac}} [\%] = \frac{\beta_t^{\text{Lac}} \cdot M_{\text{Glc}}}{\beta_0^{\text{Glc}} \cdot M_{\text{Lac}} \cdot \nu_{\text{Lac}}} \quad (4)$$

Selektivität:

$$S_t^{\text{Lac}} [\%] = \frac{\beta_t^{\text{Lac}} \cdot M_{\text{Glc}}}{(\beta_0^{\text{Glc}} - \beta_t^{\text{Glc}}) \cdot M_{\text{Lac}} \cdot \nu_{\text{Lac}}} \quad (5)$$

β_t^{Lac} = Gemessene Massenkonzentration an Milchsäure am Zeitpunkt t [g/L]

β_0^{Glc} = Eingesetzte Massenkonzentration an Glucose [g/L]

β_t^{Glc} = Gemessene Massenkonzentration an Glucose am Zeitpunkt t [g/L]

M_{Lac} = Molmasse von Milchsäure [g/mol]

M_{Glc} = Molmasse von Glucose [g/mol]

ν_{Lac} = Stöchiometrischer Koeffizient von Milchsäure

Maximale Produktivität:

Zur Bestimmung der maximalen Produktivität (P_{max}) wurde die Steigung der Lactatproduktionskurve mittels sigmoidaler Regression nach der SRichards2-Funktion und der SGompertz-Funktion ermittelt. Dazu wurde geprüft welche der beiden Funktionen den höheren Korrelationskoeffizienten besitzt. Durch Ableitung der erhaltenen Regressionskurve wurde die maximale Steigung der Regressionskurve ermittelt. Dieses Maximum entspricht der maximalen Produktivität in g/(L·h).

Die maximale Produktivität der einzelnen Stufen in Fed-Batch-Versuchen und die Gesamtproduktivität wurden nach Gleichung 6 ermittelt:

$$P_{\max} = \frac{\beta_{t_2}^{\text{Lac}} - \beta_{t_1}^{\text{Lac}}}{t_2 - t_1} \quad (6)$$

$\beta_{t_2}^{\text{Lac}}$ = Gemessene Massenkonzentration an Milchsäure am Zeitpunkt t_2 (hohe Konzentration) [g/L]

$\beta_{t_1}^{\text{Lac}}$ = Gemessene Massenkonzentration an Milchsäure am Zeitpunkt t_1 (niedrige Konzentration) [g/L]

3.7 Multivariate statistische Auswertung der Analysenergebnisse

Die statistische Auswertung wurde mit der freien Programmiersprache R 3.2.0 (entwickelt vom R Core Team, www.r-project.org) durchgeführt. Um den Zusammenhang zwischen den Analysenergebnissen der Nährstoffquellen und den Fermentationsergebnissen aufzuzeigen, wurden für die Hefeextrakte und die kommerziell erhältlichen Hefeextraktersatzstoffe, für die die gemessenen Vitaminkonzentrationen vorliegen, zwei Methoden zur multivariaten Datenanalyse getestet: eine Clusteranalyse und eine multivariate Regression nach der Partial Least Squares-Methode (PLS). Die Quellcodes zur Clusteranalyse und Partial Least Squares-Analyse sind in Anhang A4. zu finden.

3.7.1 Clusteranalyse

Bei der Clusteranalyse handelt es sich um ein strukturentdeckendes multivariates Verfahren. Das bedeutet, dass für die Berechnungen nur die Variablen, nicht aber die daraus resultierenden Beobachtungen berücksichtigt werden. Somit ermöglicht die Clusteranalyse im Kontext dieser Arbeit, Ähnlichkeitsstrukturen in der Zusammensetzung der Nährstoffquellen zu entdecken und diese in Cluster zu gliedern, unabhängig von den hier verwendeten Stämmen und den erhaltenen Fermentationsergebnissen. Daher kann das Ergebnis der Clusteranalyse auch bei der Optimierung anderer Prozesse hilfreich sein. Da jeder Stamm unterschiedliche Nährstoffanforderungen besitzt, die individuell bestimmt werden müssen, reduziert sich durch das Clustering im Idealfall die Anzahl der zu testenden Nährstoffquellen

auf die Anzahl der Cluster, in denen die Nährstoffquellen mit ähnlicher Zusammensetzung enthalten sind.

Für die Auswahl der passenden Clustering-Methode wurden die hierarchischen Methoden ward.D, ward.D2, single, complete, average, mcquitty, median und centroid miteinander verglichen und anschließend ein Vergleich der erhaltenen Cluster mit den Fermentationsergebnissen durchgeführt. Die beste Übereinstimmung zeigten die Ergebnisse der ward.D2-Methode (Paket: stats), bei der die Distanz zweier Cluster zunächst quadriert wird und die Cluster anschließend so fusioniert werden, dass die Gesamtvarianz im Cluster minimal gehalten wird.^[117]

3.7.2 Partial Least Squares-Regression

Die Partial Least Squares-Regression (PLS) ist ein multivariater Regressionsalgorithmus, bei der die Variablen im Datensatz in latenten Variablen/Hauptkomponenten zusammengefasst werden, um die Anzahl und die Komplexität der Daten zu reduzieren. Dazu werden zunächst die Matrix von X und der Vektor Y in einen Faktorenraum projiziert. Die Koordinaten in diesem Faktorenraum werden Scores genannt. Nun werden die X-Daten auf den Y-Vektor regressiert und dadurch die Hauptkomponenten erhalten. Diese werden iterativ so angenähert, dass die Kovarianz der Scores zwischen X und Y einen maximalen Wert erreicht. In einem zweiten Schritt werden der Pfadkoeffizient und die Loadings durch Least Squares-Regression geschätzt. Die Loadings beschreiben den Beitrag der tatsächlichen Variablen zur Hauptkomponente und zur Varianz.^{[118],[119]} Damit das Ergebnis von der Größenordnung der Daten unabhängig ist, muss X zuvor skaliert werden. Die Berechnung wurde für die Produktivitäten von *S. inulinus* als Y-Vektor durchgeführt.

Bei großen Datensätzen, wie den hier vorliegenden Analysendaten mit insgesamt 156 Variablen, stellt sich das Problem des Over-fittings. Dies bedeutet, dass durch die hohe Anzahl an Variablen ein Rauschen in den Regressionskoeffizienten entsteht, durch das die Korrelationen nicht mehr klar erkennbar sind.^[120] Deshalb musste zunächst eine Variablenselektion durchgeführt werden. Dazu wurden zuerst die Variablen aussortiert, die nur vereinzelt in den Proben gefunden wurden. Anschließend konnten mithilfe der regsubsets-Funktion (Paket: leaps) aus den verbliebenen 86 Variablen sequenziell nach Stoffklassen (Aminosäuren, Vitaminen, Spurenelementen und weiteren) 16 Variablen selektiert werden, die für die PLS Analyse herangezogen wurden.

Die Berechnung (Anhang A4.) ergibt eine optimale Komponentenanzahl von 7, da sich damit bereits 89,6 % der Varianz erklären lassen und der Fehler der Vorhersage mit dieser Komponentenanzahl ein lokales Minimum besitzt. Durch Auftragung der berechneten gegen die gemessenen Produktivitäten kann das vorliegende Modell validiert werden. Die Streuung der Werte ist relativ gering und eine gute Übereinstimmung zu erkennen (Abb. 3.3). Durch Einbeziehung weiterer Hauptkomponenten kann die Qualität der Vorhersage zwar weiter verbessert werden, der Vorteil dadurch ist aber gering. Anhand der selektierten 16 Variablen lassen sich die Produktivitäten demnach gut abschätzen.

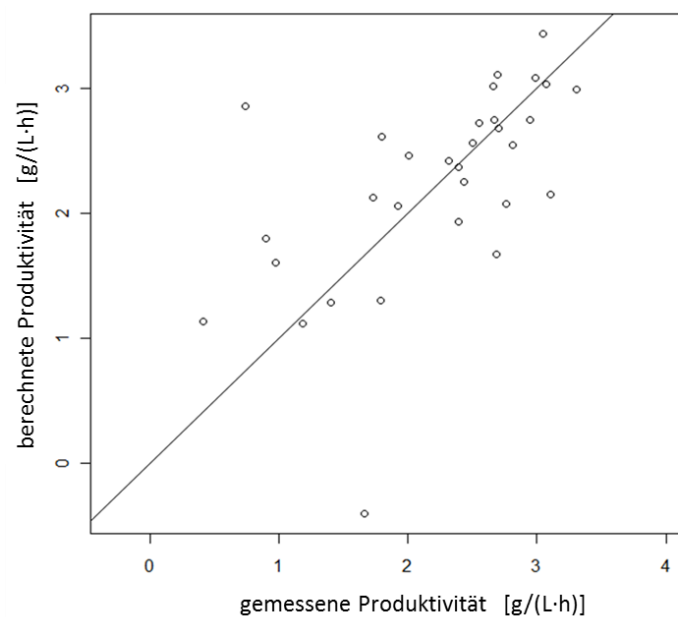


Abbildung 3.3: Vergleich der Vorhersage und der mit *S. inulinus* bestimmten Produktivitäten zur Validierung der PLS-Regression

Die für diese Vorhersage herangezogenen Regressionskoeffizienten geben schließlich Auskunft darüber, welche Variablen einen Beitrag zur Produktivität leisten und ob dieser positiv oder negativ ist.

4 Ergebnisse und Diskussion

4.1 Zusammensetzung der Hefeextrakte und der alternativen Nährstoffquellen

Hefeextrakt wird meist durch Autolyse von Hefezellen hergestellt und enthält alle wasserlöslichen Zellbestandteile, unter anderem Aminosäuren und Peptide, Kohlenhydrate, Salze, Nukleotide und wasserlösliche B-Vitamine. Die Komplexität dieser Zusammensetzung erfordert, wegen der häufig störenden Probenmatrix, aufwendige Probenvorbereitungen für die Analytik. Zudem sind Analysemethoden notwendig, die es ermöglichen, eine möglichst große Anzahl an Analyten simultan zu erfassen. Tabelle 4.1 zeigt eine Übersicht der untersuchten Stoffklassen und der entsprechenden Analysemethoden, die verwendet wurden, um die Zusammensetzung der Hefeextrakte, kommerziell erhältlichen Hefeextraktersatzstoffe und der mild chemisch hergestellten Rohstoffhydrolysate zu bestimmen. Um den Einfluss einzelner Komponenten der Nährstoffquellen auf das bakterielle Wachstum zu untersuchen, wurde dabei zwischen begrenzt bioverfügbaren gebundenen Komponenten und verfügbaren freien Monomeren bzw. gelösten Ionen differenziert. Die analytischen Kenngrößen dieser Messmethoden sind in Anhang A9. zu finden.

Tabelle 4.1: Untersuchte Stoffklassen und verwendete Methoden zur Analyse der Zusammensetzung von Hefeextrakten, kommerziell erhältlichen Hefeextraktersatzstoffen und mild chemisch hergestellten Rohstoffhydrolysaten

Stoffklasse	Analysemethode
Gesamtstickstoff	Bestimmung nach Kjeldahl
Freie Aminosäuren	GC-FID nach Derivatisierung mit Ez:Faast-Kit
Proteine und Peptide	Hydrolyse (6N HCl); Aminosäuren mit Ez:Faast-Kit; GC-FID
Vitamine	VitaFast [®] mikrobiologischer Mikrotiterplattentest
Mineralien und Spurenelemente	ICP-OES nach Mikrowellenaufschluss
Lösliche Kationen und Anionen	IC
Kohlenhydrate	HPAEC-PAD, frei und nach NREL-Aufschluss
Hemmstoffe	HPLC-RI-UV/Vis
Fettsäuren	GC/MS nach Derivatisierung zu FAME
Freier Aminostickstoff	UV-Vis-Spektroskopie
Reduzierende Zucker	UV-Vis-Spektroskopie
Flavonoide	UV-Vis-Spektroskopie
Polyphenole	UV-Vis-Spektroskopie

Abb. 4.1 zeigt die Verteilung der wichtigsten Stoffklassen in den Nährstoffquellen und deren Anteil an freien Aminosäuren, Ionen und Vitaminen als bioverfügbare Komponenten.

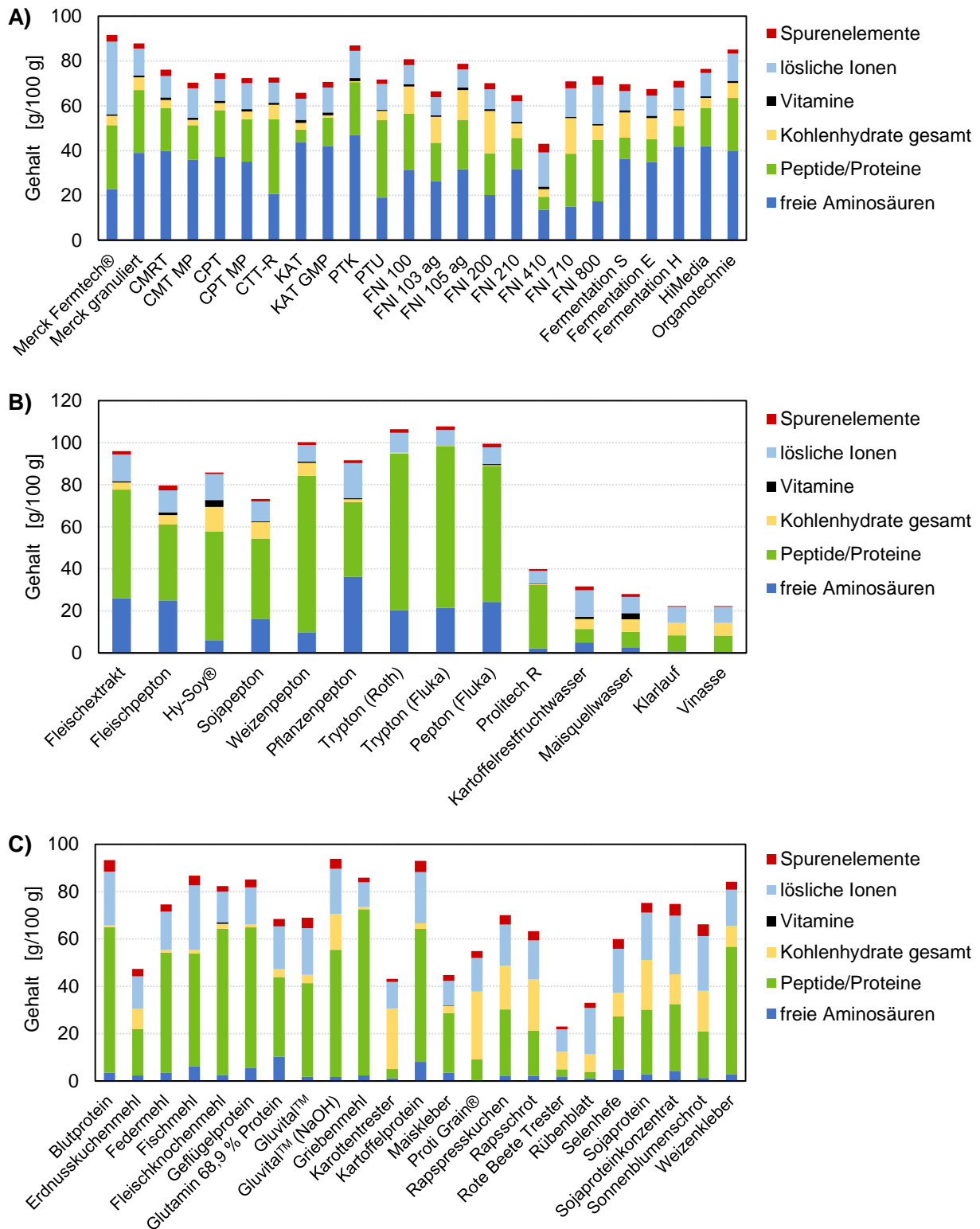


Abbildung 4.1: Verteilung der wichtigsten Stoffklassen und Anteil bioverfügbarer Komponenten in den Nährstoffquellen: A) Hefeextrakte; B) kommerziell erhältliche Hefeextraktersatzstoffe; C) mild chemisch hergestellte Rohstoffhydrolysate

Zwischen den Arten der Nährstoffquellen sind bereits deutliche Unterschiede erkennbar. Hefeextrakte zeichnen sich durch ihren hohen Gehalt an freien Aminosäuren aus, während die kommerziell erhältlichen Hefeextraktersatzstoffe bei ebenfalls sehr hohem Proteingehalt deutlich weniger freie Aminosäuren besitzen. In den mild chemisch hergestellten Rohstoffhydrolysaten beträgt der Aminosäuregehalt maximal 10 %. Stattdessen sind in den Rohstoffhydrolysaten pflanzlichen Ursprungs teils hohe Gehalte an Kohlenhydraten und löslichen Ionen vorhanden, wohingegen Hefeextrakte und kommerziell erhältliche Hefeextraktersatzstoffe in den meisten Fällen geringere Gehalte dieser Stoffklassen aufweisen. Auch Spurenelemente, die nicht mit den löslichen Ionen erfasst werden, z.B. Zink, Eisen, Mangan, Kupfer und Aluminium treten in den chemisch hergestellten Rohstoffhydrolysaten in deutlichen Mengen auf. Milchsäurebakterien werden in der Regel positiv durch Eisen und Mangan beeinflusst. Kupfer und Zink können hingegen auf einige Fermentationen hemmend wirken.^[121]

Da sich diese Ergebnisse auf die tatsächlichen Einwaagen und nicht auf die Trockenmasse beziehen, liegt die Summe der identifizierten Stoffklassen bei Nährstoffquellen mit hohem Wassergehalt, wie Prolitech R bis Vinasse nur bei 20 – 40 %. Die detaillierte Zusammensetzung aller Nährstoffquellen ist Anhang A10. – A12. zu entnehmen.

4.2 Kultivierung und Lactatproduktion von *Sporolactobacillus putidus*

Sporolactobacillus putidus, der erstmals 2010 von Fujita *et al.* aus vergorenem Orangensaft isoliert wurde, zeichnet sich durch seinen niedrigen pH-Wachstumsbereich von 3,5 – 5,5 aus.^[122] Er ist in der Lage, D-Lactat in hoher Enantiomerenreinheit, hoher Ausbeute und geringer Nebenproduktbildung zu produzieren. *S. putidus* besitzt eine hohe Säuretoleranz und durch den niedrigen pH-Wachstumsbereich sinkt die Gefahr von Kontaminationen durch Fremdorganismen, was insbesondere in großtechnischen Prozessen von großem Vorteil ist. Aus diesen Gründen wurde in dieser Arbeit die biotechnische D-Lactatproduktion mit *S. putidus* untersucht.

Sporolactobacillus putidus erreichte im Referenzversuch mit Standardproduktionsmedium im 100 mL Kulturkolben mit 10 g/L Merck Fermtech® Hefeextrakt als Nährstoffquelle eine Lactatkonzentration von 94 g/L, ausgehend von 105 g/L Glucose (Abb. 4.2, Tabelle 4.2). Die Lactatproduktion von *S. putidus* ist wachstumsgekoppelt und begann nach einer lag-Phase

4. Ergebnisse und Diskussion

von etwa 40 h. Nach 95 h endete die exponentielle Wachstumsphase und die Glucose war fast vollständig umgesetzt. Als Nebenprodukte wurden 1,5 g/L Formiat, 1,4 g/L Acetat und 0,8 g/L Propionat gebildet. Daraus ergeben sich eine Ausbeute von 90 % und eine Selektivität für Lactat von 93 %.

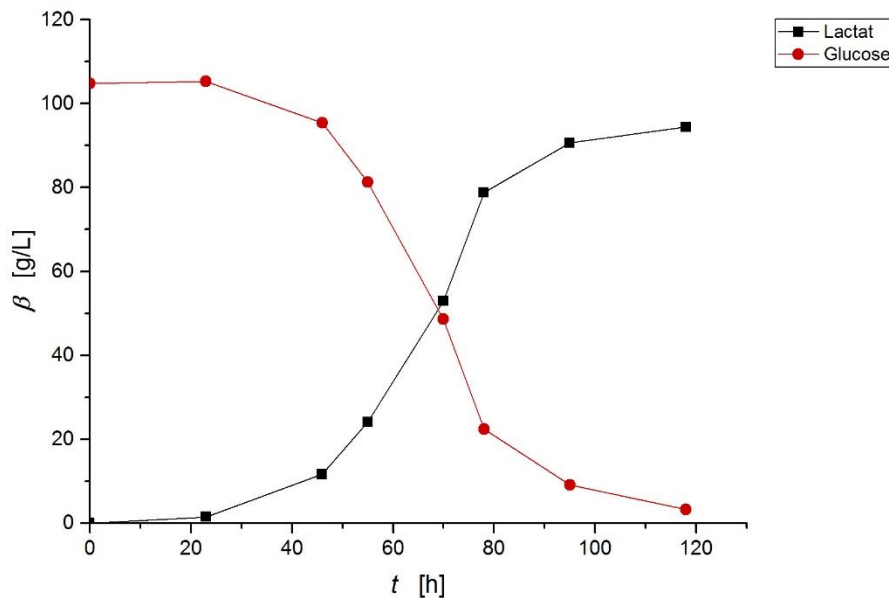


Abbildung 4.2: Glucoseverbrauch und Lactatproduktion von *S. putidus* im Referenzversuch mit 100 mL Standardproduktionsmedium (10 g/L Merck Fermtech® Hefeextrakt) im 100 mL Kulturkolben, 38 °C, 0 rpm (siehe Kap. 3.3.5)

Tabelle 4.2: Lactatproduktion und Nebenproduktbildung von *S. putidus* im Referenzversuch mit 100 mL Standardproduktionsmedium (10 g/L Merck Fermtech® Hefeextrakt) im 100 mL Kulturkolben, 38 °C, 0 rpm (siehe Kap. 3.3.5) nach 118 h

		Glucose	Lactat	Formiat	Acetat	Propionat
β_0	[g/L]	105	–	–	0,73	–
$\beta_{118\text{ h}}$	[g/L]	2,96	94,7	1,44	2,19	0,77
P_{\max}	[g/(L·h)]	–	2,36	–	–	–
$S_{118\text{ h}}$	[%]	–	92,7	1,43	1,40	0,74
$Y_{118\text{ h}}$	[%]	–	90,1	1,39	1,36	0,76
ee D-Lactat	[% ee]		>99			

4.2.1 Optimierung der Startkonzentrationen von Glucose und Hefeextrakt

Zur Steigerung der Lactatproduktion wurde in Batch-Kultivierungen im Kulturkolben systematisch der Einfluss variierender Startkonzentrationen von Glucose $\beta_0^{\text{Glc}} = 50 - 120$ g/L und Hefeextrakt (Merck Fermtech®) $\beta_0^{\text{H1}} = 3 - 20$ g/L untersucht. Die Fermentationen wurden nach Ende der exponentiellen Phase abgebrochen. Die maximale Produktivität zeigte sich dabei stark abhängig von β_0^{Glc} und β_0^{H1} und variierte zwischen einem Minimum von 1,05 g/(L·h) bei $\beta_0^{\text{Glc}} = 120$ g/L und $\beta_0^{\text{H1}} = 20$ g/L und einem Maximum von 2,30 g/(L·h) bei $\beta_0^{\text{Glc}} = 100$ g/L und $\beta_0^{\text{H1}} = 10$ g/L (Abb. 4.3). Insbesondere β_0^{Glc} führte bei gleichem β_0^{H1} zu signifikanten Produktivitätsveränderungen und bereits ab $\beta_0^{\text{Glc}} = 100$ g/L fand teilweise kein vollständiger Umsatz der Glucose statt. Im Hinblick auf die Lactatselektivität traten Schwankungen zwischen 86 % und 97 % auf, mit einem Maximum bei $\beta_0^{\text{H1}} = 10$ g/L und $\beta_0^{\text{Glc}} = 80$ g/L. Bei maximaler Produktivität ($\beta_0^{\text{Glc}} = 100$ g/L und $\beta_0^{\text{H1}} = 10$ g/L) wurde hingegen nur eine Lactatselektivität von 93 % erreicht.

Damit können die optimalen Fermentationsbedingungen für *S. putidus* als $\beta_0^{\text{H1}} = 10$ g/L und $\beta_0^{\text{Glc}} = 80$ g/L definiert werden, da mit $P_{\text{max}} = 2,26$ g/(L·h) und $S_{\text{Lac}} = 97$ % die Abweichung zum höchsten P_{max} vernachlässigbar klein ist.

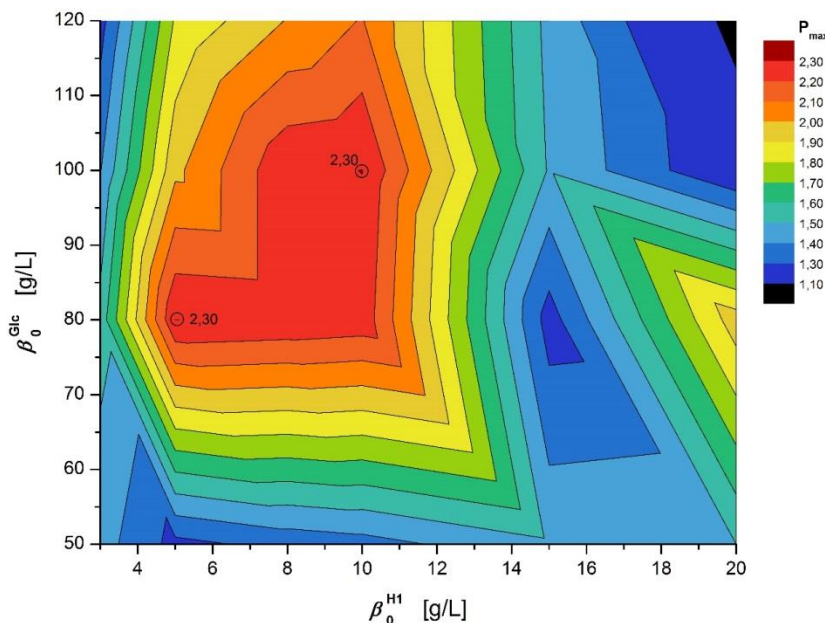


Abbildung 4.3: Abhängigkeit der Produktivität von *S. putidus* von der Glucose- und Hefeextraktkonzentration im Standardproduktionsmedium in 100 mL Kulturkolben bei 38 °C, 0 rpm (siehe Kap. 3.3.5); getestete Glucosekonzentrationen: 50, 80, 100, 120 g/L; getestete Hefeextraktkonzentrationen: 3, 5, 8, 10, 15, 20 g/L

4.2.2 Variation der Nährstoffquellen

Ausgehend von der optimierten Hefeextraktkonzentration $\beta_0^{\text{H1}} = 10 \text{ g/L}$ Merck Fermtech® wurden im Folgenden verschiedene Nährstoffquellen eingesetzt und durch Anpassen der Nährstoffquellenkonzentration der Gesamtstickstoffgehalt von 0,0954 % im Medium konstant gehalten. Um eine Phosphatlimitierung zu vermeiden, wurde zudem eine minimale Konzentration von 0,55 g/L Phosphat eingestellt. Dies entspricht dem mittels Ionenchromatographie ermittelten Gehalt an gelösten Phosphationen in 10 g/L Merck Fermtech® Hefeextrakt. Da die optimale Startkonzentration an Glucose $\beta_0^{\text{Glc}} = 80 \text{ g/L}$ zu gering ist, da sie bereits vollständig abgebaut ist, bevor Nährstofflimitierungen erreicht werden, wurden die folgenden Kultivierungen mit $\beta_0^{\text{Glc}} = 100 \text{ g/L}$ durchgeführt.

Abb. 4.4 zeigt die Veränderungen der Produktivitäten P_{max} und der von *S. putidus* produzierten Lactatkonzentrationen β^{Lac} bei Variation der Nährstoffquelle, differenziert nach Hefeextrakten, kommerziell erhältlichen Hefeextraktersatzstoffen und mild chemisch hergestellten Rohstoffhydrolysaten. Aufgrund der unterschiedlichen Produktivitäten veränderte sich auch die Fermentationszeit. β^{Lac} wurde nach Ende der exponentiellen Phase bestimmt, sodass die Werte trotz unterschiedlicher Zeitpunkte dennoch gut vergleichbar sind. Da in den meisten Fällen die Glucose zu diesen Zeitpunkten noch nicht vollständig umgesetzt wurde und somit weiterhin eine schwache Lactatproduktion stattfand, wurde hier nicht der Begriff Endkonzentration verwendet.

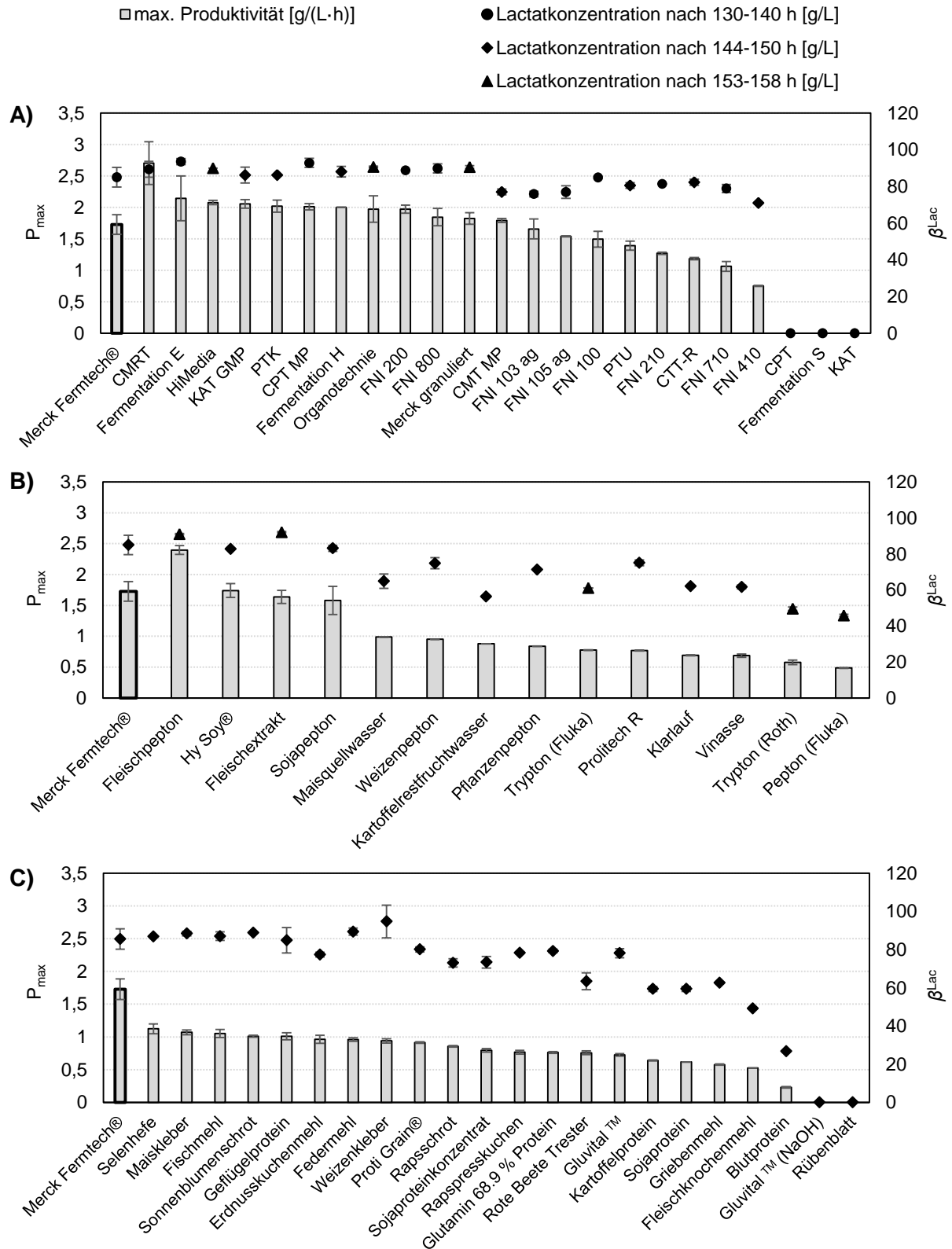


Abbildung 4.4: Maximale Produktivitäten P_{\max} und Lactatkonzentrationen β^{Lac} von *S. putidus* bei Variation der Nährstoffquelle im Standardproduktionsmedium, 100 mL Kulturkolben, 38 °C, 0 rpm (siehe Kap. 3.2.1, Kap. 3.3.5 und Kap. 3.3.7): A) Hefeextrakte; B) kommerziell erhältliche Hefeextraktersatzstoffe; C) mild chemisch hergestellte Rohstoffhydrolysate

Der Vergleich zeigt, dass die Hefeextrakte zu ähnlich hohen β^{Lac} -Werten führen und auch P_{max} nur bei wenigen Hefeextrakten deutlich von der Referenz mit $P_{\text{max}} = 1,73 \text{ g/(L}\cdot\text{h)}$ abweicht. CMRT lieferte mit $P_{\text{max}} = 2,70 \text{ g/(L}\cdot\text{h)}$ mit Abstand das beste Ergebnis, mit FNI 410 wurde hingegen nur $P_{\text{max}} = 0,55 \text{ g/(L}\cdot\text{h)}$ erreicht. Bei der Verwendung von Fermentation S, CPT und KAT konnte kein Wachstum beobachtet werden. Im Durchschnitt wurde $P_{\text{max}} = 1,74 \text{ g/(L}\cdot\text{h)}$ und $\beta^{\text{Lac}} = 85 \text{ g/L}$ erhalten.

Die kommerziell erhältlichen Hefeextraktersatzstoffe erzielten im Allgemeinen geringere P_{max} und β^{Lac} -Werte als der Merck Fermtech® Hefeextrakt. Ausnahmen stellten hier Fleischpepton und Fleischextrakt sowie die Soja basierten Nährstoffquellen, Hy-Soy® und Sojapepton, dar. Fleischpepton ragt mit $P_{\text{max}} = 2,40 \text{ g/(L}\cdot\text{h)}$ Lactat deutlich über dem Durchschnitt von $P_{\text{max}} = 1,07 \text{ g/(L}\cdot\text{h)}$ und $\beta^{\text{Lac}} = 69 \text{ g/L}$ heraus.

Bei der Verwendung der mild chemisch hergestellten Rohstoffhydrolysate als Nährstoffquellen wurden zwar geringe P_{max} - aber größtenteils hohe β^{Lac} -Werte erhalten. Darunter fand mit Selenhefe-Hydrolysat mit $P_{\text{max}} = 1,12 \text{ g/(L}\cdot\text{h)}$ die schnellste Lactatproduktion statt. Mit Blutprotein-Hydrolysat war die Lactatproduktion mit $P_{\text{max}} = 0,23 \text{ g/(L}\cdot\text{h)}$ und $\beta^{\text{Lac}} = 27 \text{ g/L}$ sowohl am langsamsten, als auch am geringsten. Der Durchschnitt liegt für P_{max} bei $0,86 \text{ g/(L}\cdot\text{h)}$ und für β^{Lac} bei 75 g/L . Lediglich bei der Verwendung von Rübenblatt-Hydrolysat und dem mit Natriumhydroxid neutralisierten Gluvital™-Hydrolysat fand kein Wachstum statt, in beiden Fällen bedingt durch die hohe Salzkonzentration.

Die Durchschnittswerte zeigen, dass die Nährstoffquelle zwar einen deutlichen Einfluss auf P_{max} von *S. putidus* ausübt, β^{Lac} sich dadurch aber kaum verändert. Mögliche Gründe für die Produktivitätsdifferenzen werden in Kap. 4.4 unter Berücksichtigung der statistischen Auswertung der Analysendaten der Nährstoffquellen diskutiert.

4.3 Kultivierung und Lactatproduktion von *Sporolactobacillus inulinus*

Sporolactobacillus inulinus wurde als erster Stamm der Gattung *Sporolactobacillus* 1963 von Kitahara und Suzuki entdeckt.^[123] Er produziert D-Lactat in hoher Enantiomerenreinheit bei geringer Nebenproduktbildung und besitzt zudem ein breites Substratspektrum und eine geringe Substrathemmung.^[123] Wang *et al.*^[101] erzielten mit *S. inulinus* CASD bereits hohe

Endkonzentrationen von 207 g/L D-Lactat mit einer Ausbeute von 0,93 g/g Glucose und wiesen damit die hohe Produkttoleranz dieses Stammes nach. Außerdem zeigten sie die Sensitivität von *S. inulinus* gegenüber den eingesetzten Nährstoffquellen. Aus diesem Grund und aufgrund seines Potentials, Anwendung in einem großtechnischen Verfahren zu finden, wurde *Sporolactobacillus inulinus* in dieser Arbeit verwendet, um den Einfluss der Nährstoffquellen zu untersuchen.

Im Referenzversuch für die D-Lactatproduktion mit *Sporolactobacillus inulinus* wurden, ausgehend von 10 g/L Merck Fermtech® Hefeextrakt und 96 g/L Glucose, nach 76,5 h 93 g/L Lactat und als Nebenprodukte 15 g/L Formiat, 0,23 g/L Acetat und 2,3 g/L Propionat erhalten. Nach 20 h war $\beta^{\text{Lac}} = 13 \text{ g/L}$ und die lag-Phase bereits beendet. Es ist zu erkennen, dass nach etwa 60 h die Glucose nahezu vollständig umgesetzt wurde (Abb. 4.5). Nach 76,5 h wurde mit *S. inulinus* eine Ausbeute von 87 % und eine Selektivität von 88 % erhalten (Tabelle 4.3). Im Vergleich dazu erreichte *S. putidus* mit einer Ausbeute von 90 % und einer Selektivität von 93 % unter gleichen Bedingungen ein besseres Ergebnis.

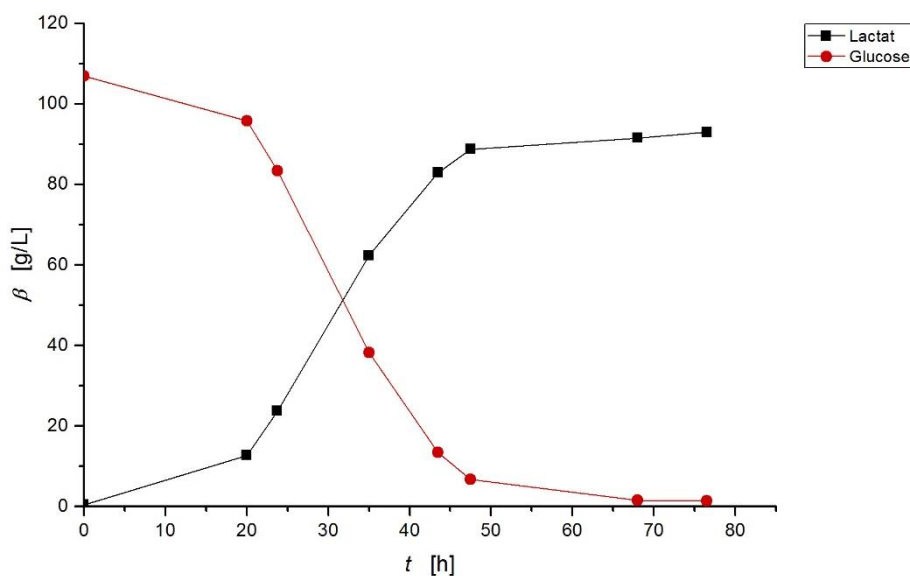


Abbildung 4.5: Glucoseverbrauch und Lactatproduktion von *S. inulinus* im Referenzversuch mit 100 mL Standardproduktionsmedium (10 g/L Merck Fermtech® Hefeextrakt) in 100 mL Kulturkolben, 38 °C, 0 rpm (siehe Kap. 3.3.5)

Tabelle 4.3: Lactatproduktion und Nebenproduktbildung von *S. inulinus* im Referenzversuch mit 100 mL Standardproduktionsmedium (10 g/L Merck Fermtech® Hefeextrakt) in 100 mL Kulturkolben, 38 °C, 0 rpm (siehe Kap. 3.3.5) nach 76,5 h

		Glucose	Lactat	Formiat	Acetat	Propionat
β_0	[g/L]	107	0,42	0,51	0,68	–
$\beta_{76,5\text{ h}}$	[g/L]	1,40	93,0	15,5	0,91	2,27
P_{\max}	[g/(L·h)]	–	3,86	–	–	–
$S_{76,5\text{ h}}$	[%]	–	88,1	14,7	0,86	2,15
$Y_{76,5\text{ h}}$	[%]	–	86,9	14,5	0,85	2,12
ee D-Lactat	[% ee]		>99			

4.3.1 Optimierung der Startkonzentrationen von Glucose und Hefeextrakt

Die Glucose- und Hefeextraktkonzentrationen haben einen signifikanten Einfluss auf die Produktivität. Dies wurde mit *S. putidus* bereits gezeigt (Kap. 4.2.1). Um die optimalen Startkonzentrationen für die Kultivierung von *S. inulinus* zu ermitteln, wurden in Kulturkolben variierende Konzentrationen an Merck Fermtech® Hefeextrakt $\beta_0^{\text{H1}} = 3 - 20$ g/L und Glucose $\beta_0^{\text{Glc}} = 80 - 150$ g/L eingesetzt. P_{\max} liegt dabei in einem Bereich zwischen 1,49 g/(L·h) bei $\beta_0^{\text{H1}} = 3$ g/L, $\beta_0^{\text{Glc}} = 150$ g/L und 3,29 g/(L·h) bei $\beta_0^{\text{H1}} = 8$ g/L, $\beta_0^{\text{Glc}} = 100$ g/L (Abb. 4.6). Im Vergleich zu *S. putidus* besitzt *S. inulinus* eine höhere Toleranz gegenüber β_0^{Glc} . Dadurch ist der Einsatz höherer β_0^{Glc} möglich und die Produktivitätsveränderungen, die durch Variation von β_0^{Glc} verursacht werden, sind gering. Die Variation von β_0^{H1} führt hingegen bei gleichem β_0^{Glc} zu Produktivitätsveränderungen um bis zu 1,5 g/(L·h). Die Lactatselektivitäten liegen zwischen 83 % und 91 % mit einem Maximum bei ebenfalls $\beta_0^{\text{H1}} = 8$ g/L, $\beta_0^{\text{Glc}} = 100$ g/L. Diese Bedingungen entsprechen den optimalen Startkonzentrationen an Glucose und Hefeextrakt für *S. inulinus*.

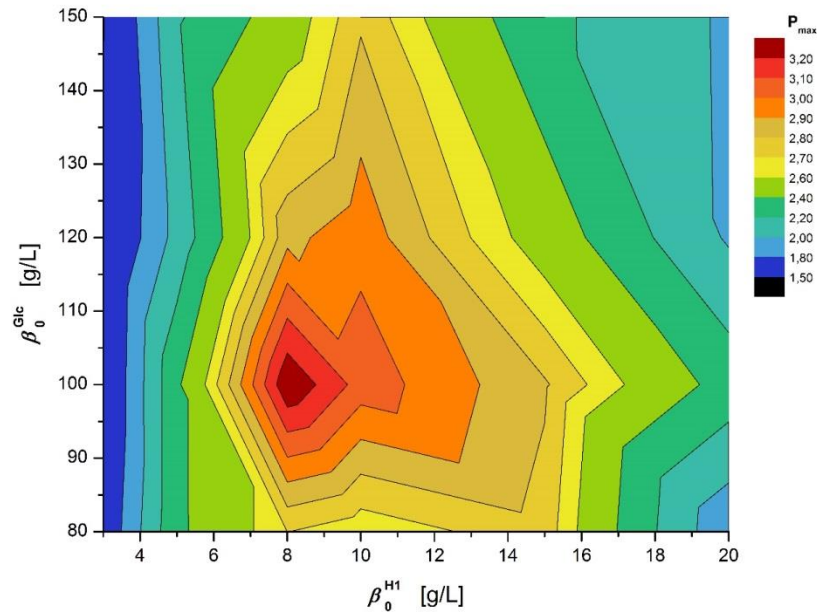


Abbildung 4.6: Abhängigkeit der Produktivität von *S. inulinus* von der Glucose- und Hefeextraktkonzentration im Standardproduktionsmedium, 100 mL Kulturkolben, 38 °C, 0 rpm (siehe Kap. 3.3.5); getestete Glucosekonzentrationen: 80, 100, 120, 150 g/L; getestete Hefeextraktkonzentrationen: 3, 5, 8, 10, 15, 20 g/L

4.3.2 Variation der Nährstoffquellen

Um Limitierungen bei der Variation der Nährstoffquelle erreichen und erkennen zu können, sollte β_0^{Glc} für *S. inulinus* mindestens 120 g/L betragen. Die höchste Produktivität in diesem Bereich wurde mit $\beta_0^{\text{H1}} = 10$ g/L Merck Fermtech® Hefeextrakt erhalten. Damit vergleichbare Bedingungen für die Verwendung der verschiedenen Nährstoffquellen vorliegen, wurde eine konstante Gesamtstickstoffkonzentration entsprechend $\beta_0^{\text{H1}} = 10$ g/L Merck Fermtech® von 0,0954 % und eine Phosphatkonzentration von mindestens 0,55 g/L im Medium beibehalten.

Die unter Variation der Nährstoffquelle von *S. inulinus* produzierten Lactatkonzentrationen β^{Lac} und die dabei erreichten maximalen Produktivitäten P_{max} sind in Abb. 4.7 klassifiziert nach Hefeextrakten, kommerziell erhältlichen Hefeextraktersatzstoffen und mild chemisch hergestellten Rohstoffhydrolysaten dargestellt. Die für β^{Lac} angegebenen Zeitpunkte ergeben sich aus der jeweiligen Fermentationsdauer, die sich mit steigender Produktivität und somit schnellerer Glucosekonversion verkürzt. Da die exponentielle Phase an diesen Zeitpunkten bereits beendet war, sind die β^{Lac} -Werte dennoch vergleichbar. Zur Kontrolle wurde Merck Fermtech® Hefeextrakt als Referenz kultiviert.

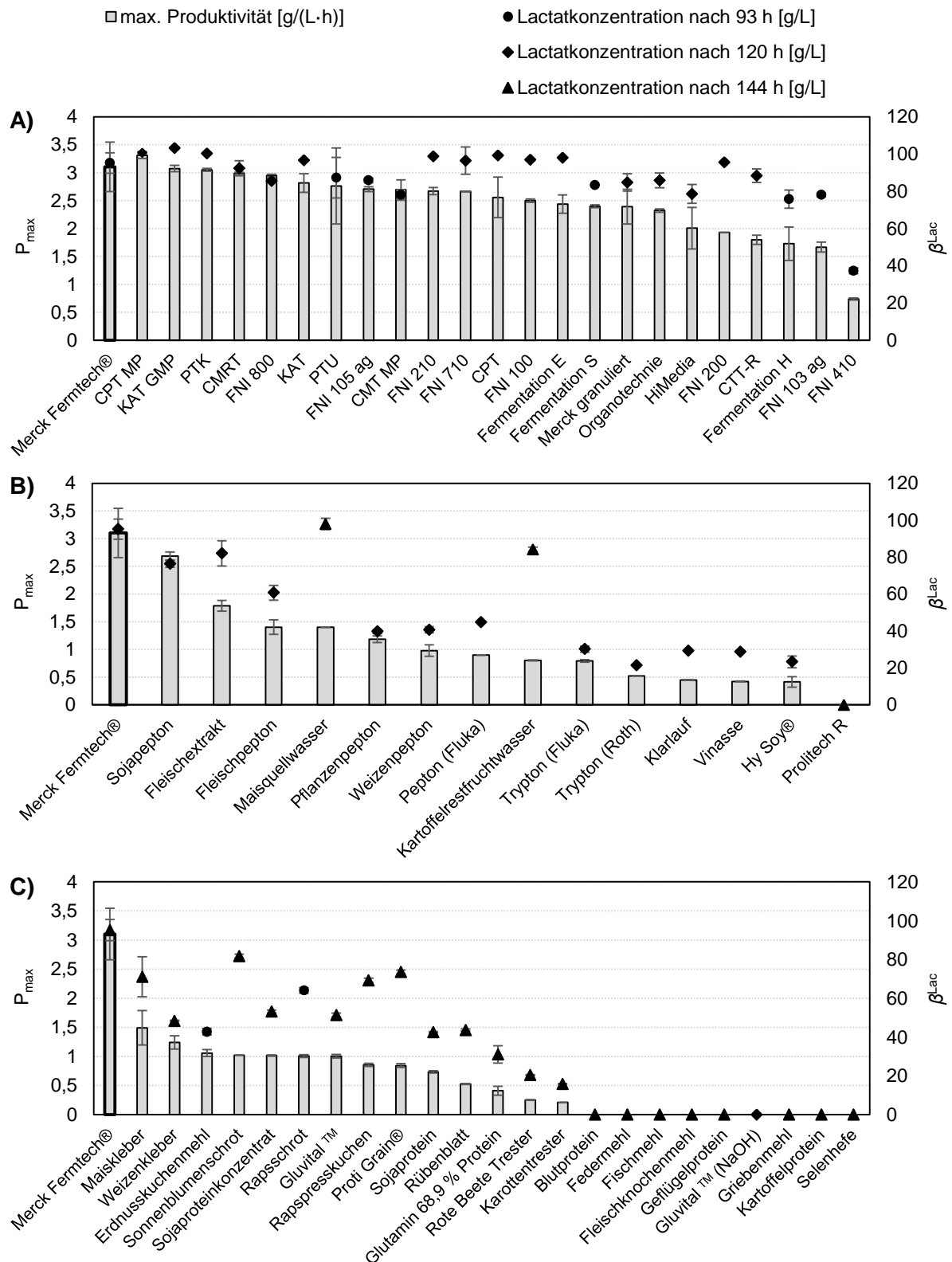


Abbildung 4.7: Maximale Produktivitäten P_{\max} und Lactatkonzentrationen β^{Lac} von *S. inulinus* bei Variation der Nährstoffquelle im Standardproduktionsmedium, 100 mL Kulturkolben, 38 °C, 0 rpm (siehe Kap. 3.2.1, Kap. 3.3.5 und Kap. 3.3.7): A) Hefeextrakte; B) kommerziell erhältliche Hefeextraktersatzstoffe; C) mild chemisch hergestellte Rohstoffhydrolysate

S. inulinus erreichte mit einigen Hefeextrakten höhere P_{\max} - und β^{Lac} -Werte als die Merck Fermtech® Referenz mit $P_{\max} = 3,10 \text{ g/(L}\cdot\text{h)}$ und $\beta^{\text{Lac}} = 95 \text{ g/L}$. Das beste Ergebnis lieferte CPT MP mit $P_{\max} = 3,31 \text{ g/(L}\cdot\text{h)}$. Das schlechteste Ergebnis wurde, wie auch schon für *S. putidus*, mit dem Glutathion angereicherten Hefeextrakt FNI 410 mit $\beta^{\text{Lac}} = 37 \text{ g/L}$ und $P_{\max} = 0,74 \text{ g/(L}\cdot\text{h)}$ erhalten. Es ist zu vermuten, dass der hohe Glutathiongehalt eine inhibierende Wirkung auf die Zellen ausübt. β^{Lac} erreichte mit KAT GMP ein Maximum von 103 g/L . Im Durchschnitt lag für die Hefeextrakte P_{\max} bei $2,47 \text{ g/(L}\cdot\text{h)}$ und β^{Lac} bei 89 g/L .

Unter den kommerziell erhältlichen Hefeextraktersatzstoffen wurde lediglich mit Sojapepton mit $P_{\max} = 2,68 \text{ g/(L}\cdot\text{h)}$ ein ähnlich hohes P_{\max} erreicht, wie mit Merck Fermtech® Hefeextrakt, allerdings bei geringerem β^{Lac} von 76 g/L . Mit Maisquellwasser wurde trotz geringem P_{\max} von $1,40 \text{ g/(L}\cdot\text{h)}$ ein Maximum von $\beta^{\text{Lac}} = 98 \text{ g/L}$ erhalten. Am schlechtesten schnitt Hy-Soy® mit $P_{\max} = 0,42 \text{ g/(L}\cdot\text{h)}$ und $\beta^{\text{Lac}} = 23 \text{ g/L}$ ab und liegt damit weit unter dem Durchschnitt von $P_{\max} = 1,20 \text{ g/(L}\cdot\text{h)}$ und $\beta^{\text{Lac}} = 54 \text{ g/L}$.

Ähnliche Ergebnisse wurden beim Einsatz der mild chemisch hergestellten Rohstoffhydrolysate als Nährstoffquellen beobachtet. Verglichen mit dem Merck Fermtech® Hefeextrakt wurden auch hier nur geringe P_{\max} -Werte erreicht, wohingegen β^{Lac} stark schwankte. Während Maiskleber-Hydrolysat mit $P_{\max} = 1,49 \text{ g/(L}\cdot\text{h)}$ die höchste Produktivität und $\beta^{\text{Lac}} = 71 \text{ g/L}$ erreichte, erzielte Karottentrester-Hydrolysat mit $P_{\max} = 0,21 \text{ g/(L}\cdot\text{h)}$ und $\beta^{\text{Lac}} = 16 \text{ g/L}$ sowohl die geringste, als auch langsamste Lactatproduktion. Mit Sonnenblumenschrot-Hydrolysat wurde mit $\beta^{\text{Lac}} = 82 \text{ g/L}$ am meisten Lactat produziert. Die durchschnittliche Lactatproduktion mit Hydrolysaten beträgt $\beta^{\text{Lac}} = 54 \text{ g/L}$ mit $P_{\max} = 0,98 \text{ g/(L}\cdot\text{h)}$.

Neben dem mit Natriumhydroxid neutralisierten Gluvital™-Hydrolysat, dass sich aufgrund seines hohen Salzgehalts nicht zur Fermentation eignet, wurde bei der Verwendung der Hydrolysate aus Fleischknochenmehl, Griebenmehl, Fischmehl, Federmehl, Geflügelprotein, Blutprotein, Kartoffelprotein und Selenhefe sowie dem Hefeextraktersatzstoff Prolitech R kein Wachstum von *S. inulinus* beobachtet. In den meisten Fällen wurde das Wachstum vermutlich durch die vom Hersteller zugesetzten Antioxidantien, wie Butylhydroxyanisol, Butylhydroxytoluol und Gallate gehemmt.

Im Allgemeinen zeigte sich während der Fermentation mit *S. inulinus* ein deutlich stärkerer Einfluss der Nährstoffquellen als mit *S. putidus*, insbesondere im Hinblick auf den Umsatz und die damit einhergehenden β^{Lac} -Werte.

4.4 Multivariate statistische Betrachtung der Analysenergebnisse

Die bei Variation der Nährstoffquelle erhaltenen Produktivitäten wurden anhand einer multivariaten statistischen Auswertung mit den gemessenen Analysenergebnissen in Bezug gesetzt. Dies wurde für die Hefeextrakte und kommerziell erhältlichen Hefeextraktersatzstoffe durchgeführt, für die die enthaltenen Vitaminkonzentrationen analysiert werden konnten. Es wurden zwei Methoden zur multivariaten Datenanalyse verwendet: eine Clusteranalyse und eine multivariate Regression nach der Partial Least Squares-Methode (PLS).

4.4.1 Clusteranalyse

Durch die Clusteranalyse wurde das in Abb. 4.8 dargestellte Dendrogramm erhalten. In Tabelle 4.4 sind die auffallend hohen Übereinstimmungen zwischen den gebildeten Clustern und den Kultivierungsergebnissen von *S. inulinus* und *S. putidus* gekennzeichnet. Da die Clusteranalyse aber keine Informationen darüber liefert, welche Ähnlichkeiten zum Clustering der Nährstoffquellen beigetragen haben, können an dieser Stelle nur Vermutungen getroffen werden.

Tabelle 4.4: Clustering der Nährstoffquellen, maximale Produktivitäten von *S. inulinus* und *S. putidus* sowie auffallend hohe Übereinstimmungen (rot)

Cluster	Nährstoffquelle	P_{\max} (<i>S. inulinus</i>) [g/(L·h)]	P_{\max} (<i>S. putidus</i>) [g/(L·h)]
1	Merck Fermtech	3.10	1.73
2	Weizenpepton	0.98	0.95
	Trypton (Fluka)	0.79	0.78
	Trypton (Roth)	0.52	0.58
	Pepton (Fluka)	0.90	0.49
3	Pflanzenpepton	1.18	0.84
4	FNI 800	2.95	1.85
5	Fleischpepton	1.40	2.40
	Sojapepton	2.68	1.58
	HySoy	0.42	1.74
6	FNI 410	0.74	0.75
	KAT GMP	3.07	2.06
	CMT MP	2.70	1.79
	CPT MP	3.31	2.01
	PTK	3.05	2.02
	Organotechnie	2.32	1.97
	HiMedia	2.01	2.08
7	PTU	2.76	1.39
	Fleischextrakt	1.79	1.64
8	Leiber H	1.73	2.00
	FNI 200	1.93	1.97
9	CTT-R	1.80	1.19
	FNI 103 ag	1.67	1.66
	FNI 710	2.66	1.06
	FNI 105 ag	2.70	1.54
	FNI 100	2.50	1.49
	FNI 210	2.67	1.27
10	Merck granuliert	2.39	1.82
	Leiber E	2.44	2.14
	Leiber S	2.40	0.00
	CPT	2.56	0.00
	CMRT	2.99	2.70
	KAT	2.81	0.00

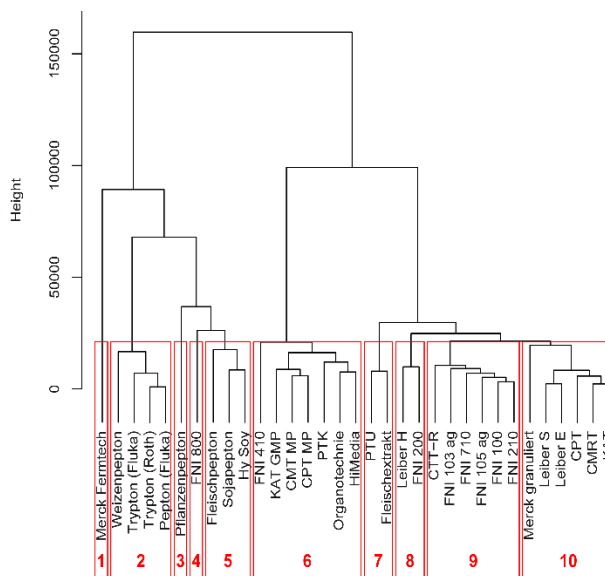


Abbildung 4.8: Cluster-Dendrogramm der Analysendaten von Hefeextrakten und ausgewählten kommerziell erhältlichen Hefeextraktersatzstoffen mit der ward.D2-Methode

Merck Fermtech® Hefeextrakt unterscheidet sich in seinem hohen Natrium- und Chloridgehalt von den anderen Nährstoffquellen und tritt somit in einem separaten Cluster auf. Tryptone, Pepton (Fluka) sowie Weizenpepton zeigen in Cluster 2 Gemeinsamkeiten in ihrem vergleichsweise niedrigen Anteil freier Aminosäuren und einem niedrigen Kaliumgehalt. Sie führten bei beiden Stämmen zu geringem P_{\max} . Gute Ergebnisse von *S. inulinus* wurden hingegen mit KAT GMP, CMT MP, CPT MP und PTK erhalten, die sich aufgrund ihres hohen Kaliumgehalts zusammen mit FNI 410, Organotechnie und HiMedia Hefeextrakt in Cluster 6 befinden. Auch *S. putidus* erreichte mit fünf dieser Hefeextrakte sich ähnelnde Produktivitäten.

Weitere Übereinstimmungen waren für die Hefeextrakte CTT-R, FNI 710 und FNI 210 zu sehen, die mit *S. putidus* stets zu geringen Produktivitäten unter 1,27 g/(L·h) führten. Auch für *S. inulinus* stimmte das Clustering in Cluster 9 für FNI 710, FNI 105 ag, FNI 100 und

FNI 210 mit $P_{\max} = 2,50 - 2,70 \text{ g/(L}\cdot\text{h)}$ überein. Des Weiteren zeigten Merck granulierter Hefeextrakt, Leiber S, Leiber E und CPT ähnliche $P_{\max} = 2,39 - 2,56 \text{ g/(L}\cdot\text{h)}$. Sie wurden vermutlich aufgrund ihres Gehalts an freien Aminosäuren von 31 – 38 g/100g gemeinsam mit CMRT und KAT in Cluster 10 gegliedert. Während *S. putidus* mit CMRT herausragend hohe Produktivitäten erzielte, war mit Leiber S, CPT und KAT kein Wachstum vorhanden. Die Gemeinsamkeiten in der Zusammensetzung der Nährstoffquellen, die dem Clustering zugrunde liegen, konnten zwar nicht eindeutig identifiziert werden, aber die Differenzen zwischen *S. inulinus* und *S. putidus* verdeutlichen nochmals die unterschiedlichen Nährstoffanforderungen dieser beiden Stämme.

Das erhaltene Cluster-Dendrogramm stimmt somit größtenteils, aber nicht vollständig mit den beobachteten Kultivierungsergebnissen überein und ermöglichte durch einen Vergleich mit den Analysendaten, einzelne potenzielle Einflussfaktoren hervorzuheben.

4.4.2 Partial Least Squares-Regression

Betrachtet man die aus der Auswertung erhaltenen Regressionskoeffizienten der Variablen (Tabelle 4.5) wird ersichtlich, dass der größte positive Beitrag zur Produktivität durch Strontium, Isoleucin gesamt, Phosphor, Serin und Kalium erbracht wird. Dies stimmt grob mit der Schätzung aus der Clusteranalyse überein. Die stärkste hemmende Wirkung geht von Vanadium und Cobalt aus. Laut dieser Berechnung haben freies Leucin, freies Isoleucin und Thiaminhydrochlorid einen leicht hemmenden Effekt. Aufgrund ihrer wichtigen Funktionen im Metabolismus sollte das Ergebnis für diese Variablen jedoch kritisch betrachtet werden.

In der Theorie konnten mit der PLS-Analyse die einflussreichen Variablen zwar bestimmt werden, die Ergebnisse sollten aber anhand gezielter Kultivierungsexperimente geprüft werden.

Tabelle 4.5: Regressionskoeffizienten der Variablen zur Vorhersage der Produktivitäten und ihr Beitrag zur Varianz

Variable	Regressionskoeffizienten	Beitrag zur Varianz [%]
Strontium	0,43982	19,3
Isoleucin gesamt	0,37902	14,4
Phosphor	0,23952	5,74
Serin frei	0,22315	4,98
Kalium gesamt	0,16103	2,59
Kalium gelöst	0,13223	1,75
Folsäure	0,06543	0,428
Leucin gesamt	-0,06307	0,398
Stearinsäure	-0,09805	0,961
Zink	-0,11994	1,44
Isoleucin frei	-0,12901	1,66
Kupfer	-0,17460	3,05
Thiaminhydrochlorid	-0,19048	3,63
Leucin frei	-0,19821	3,93
Cobalt	-0,22392	5,01
Vanadium	-0,33074	10,9

4.5 Nährstoffanforderungen von *Sporolactobacillus inulinus*

Da *Sporolactobacillus inulinus* im Vergleich zu *Sporolactobacillus putidus* für die D-Lactatproduktion große Vorteile, wie höhere Produktivitäten, höhere erreichbare Lactatkonzentrationen, geringe Substrathemmung bei einem breiten Substratspektrum und ein größeres Optimierungspotential im Hinblick auf die Nährstoffquellen, besitzt, fokussiert sich diese Arbeit darauf, im Folgenden die Nährstoffanforderungen von *Sporolactobacillus inulinus* detailliert zu untersuchen.

4.5.1 Einfluss von Hefeextrakt und daraus entstehende Limitierungen

Die Analysenergebnisse der Nährstoffquellen (Abb. 4.1) zeigten, dass Hefeextrakte im Durchschnitt zu etwa 50 % aus freien Aminosäuren und Peptiden bestehen, die für die Proteinsynthese im Zellwachstum eine essenzielle Rolle spielen. Die zweitgrößte Substanzklasse stellen die Salze und Spurenelemente mit durchschnittlich 8 % dar. Um zunächst einen Einblick zu bekommen, welche Spurenelemente aus dem Hefeextrakt während der Fermentation von *S. inulinus* genutzt werden, wurde mithilfe von ICP OES-Analysen der Gehalt an Spurenelementen im Medium vor und nach Fermentation von *S. inulinus* erfasst. Auf gleiche Weise wurde der Verbrauch der freien Aminosäuren untersucht. In den folgenden Versuchen (Kap. 4.5.1.1 bis Kap. 4.5.1.3) wurden stets 10 g/L Merck Fermtech® Hefeextrakt verwendet.

4.5.1.1 Verwertbarkeit der Salze und Spurenelemente

Die ICP-OES-Analyse des Standardproduktionsmediums vor und nach Fermentation mit *S. inulinus* zeigte keine Abnahme der Spurenelemente, die auf eine Aufnahme in die Zellen hinweist. Stattdessen war in den meisten Fällen eine deutliche Zunahme zu erkennen (Abb. 4.9). Schwefel und Phosphat wurden während der Fermentation teilweise, aber nicht vollständig metabolisiert, sodass sich eine Limitierung ausschließen lässt. Der Grund für die geringe Startkonzentration an Spurenelementen ist die schlechte Löslichkeit der Carbonate von Aluminium, Eisen, Mangan und Zink, die durch die Anwesenheit des Calciumcarbonats, dass in diesem Prozess als Puffer eingesetzt wird, entstehen. Während der Fermentation tritt dann ein ähnlicher Effekt wie bei Calciumcarbonat auf. Durch die sich bildende Milchsäure und den sinkenden pH-Wert geht ein Großteil der Spurenelemente sukzessiv unter CO₂-Bildung in Lösung und steht den Zellen damit wieder zur Verfügung. Dadurch werden am Ende der Fermentation hohe Spurenelementkonzentrationen bestimmt.

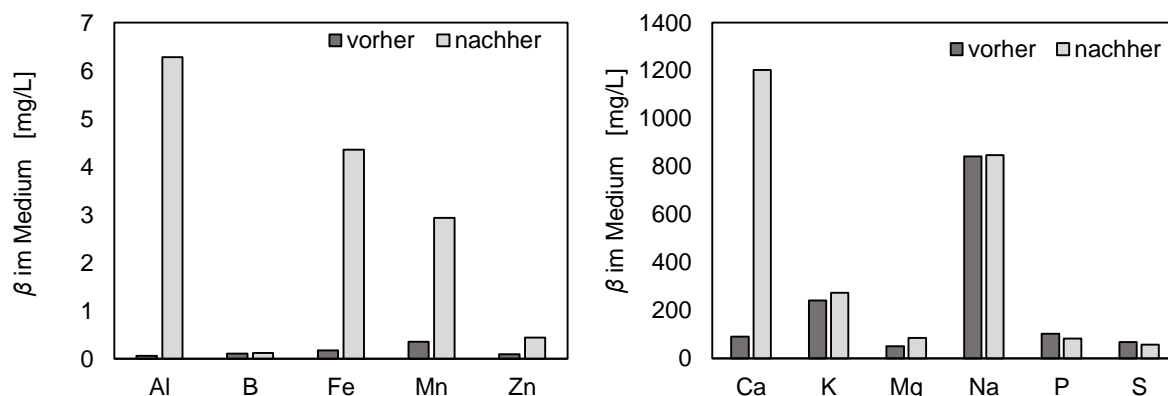


Abbildung 4.9: Konzentration der Salze und Spurenelemente im Standardproduktionsmedium (siehe Kap. 3.3.5) bestimmt mit ICP-OES vor und nach 96 h Kultivierung von *S. inulinus* in 100 mL Kulturkolben bei 38 °C, 0 rpm

Von Eisen und Mangan ist ein wachstumsfördernder Einfluss auf Milchsäurebakterien bekannt. Mangan hat auf viele Enzyme, wie z.B. Lactatdehydrogenase, RNA-Polymerase, malolactisches Enzym und NADH-Oxidase, eine aktivierende Wirkung.^[124] Kalium, Magnesium und Natrium spielen in biologischen Prozessen allgemein eine wichtige Rolle, insbesondere Natrium ist an Transportmechanismen beteiligt, sodass die Natriumkonzentration in den Zellen auch abhängig vom osmotischen Druck des Mediums ist. Für die Prozessoptimierung in einem Bioreaktorsystem sollte daher gegebenenfalls eine kontinuierliche Zugabe an Spurenelementen bzw. spurenelementreicher Nährstoffquelle in Betracht gezogen werden, da hohe Salzkonzentrationen in Abwesenheit von Calciumcarbonat inhibierend wirken könnten.

4.5.1.2 Metabolisierung der Aminosäuren

An dem Vorher-nachher-Vergleich der freien Aminosäuren in Abb. 4.10 ist zu erkennen, dass Valin, Leucin, Isoleucin, Threonin, Methionin, Phenylalanin und Tyrosin während der Fermentation vollständig metabolisiert werden. Zudem ist eine starke Abnahme an Serin, Asparagin, Asparaginsäure, Glutaminsäure, Histidin und Tryptophan zu beobachten, wohingegen die Konzentrationen an Alanin und Lysin deutlich zunehmen. Dieses Ergebnis deutet auf eine Limitierung des Prozesses durch die vollständig verbrauchten Aminosäuren hin. Es fällt auch auf, dass die Aminosäuren, die von *S. inulinus* aufgenommen werden, ähnliche Strukturen und Biosynthesewege besitzen. Valin, Leucin und Isoleucin sind

methyilverzweigte Aminosäuren, von denen Valin und Isoleucin auf gleiche Weise in der Zelle synthetisiert werden. Auch Phenylalanin und Tyrosin werden über einen gleichen Biosyntheseweg gebildet. Daher ist anzunehmen, dass *S. inulinus* nicht in der Lage ist, alle Aminosäuren selbst zu synthetisieren und deshalb auf die Zufuhr durch die Nährstoffquelle angewiesen ist. Im Falle einer Auxotrophie und Limitierung der Fermentation durch den Mangel bestimmter Aminosäuren ist eine Verlängerung der exponentiellen Produktionsphase zu erwarten, wenn genügend Aminosäuren zur Verfügung gestellt werden. Dies soll in einem Fed-Batch-Experiment nachgewiesen werden.

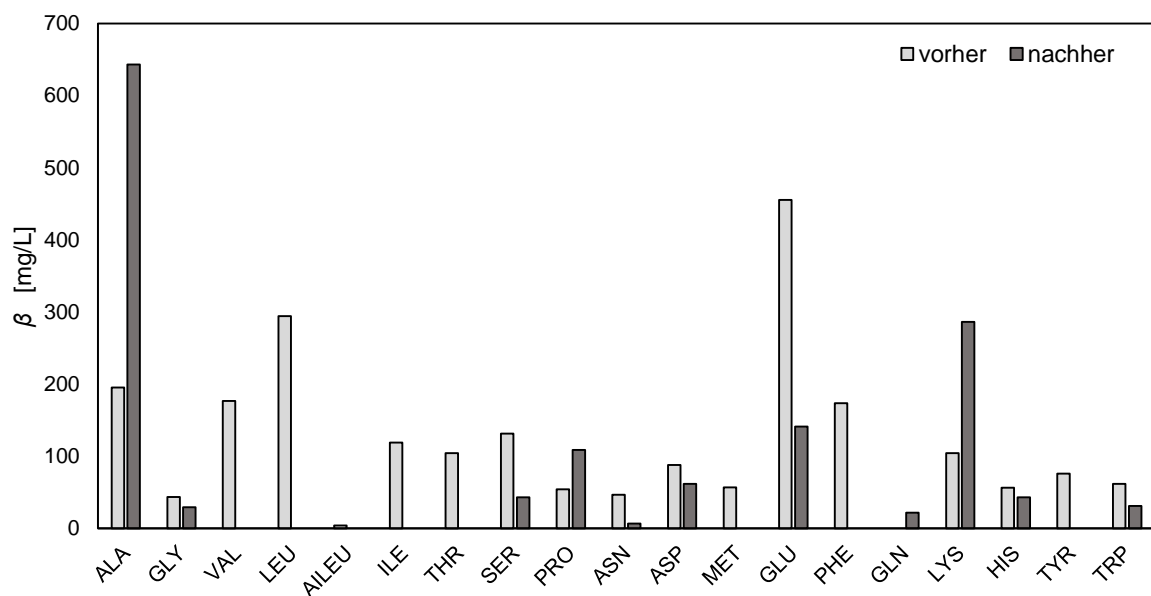


Abbildung 4.10: Vergleich der Konzentrationen an freien Aminosäuren im Standardproduktionsmedium ermittelt mit GC-FID nach EZ:faast-Derivatisierung, vor der Kultivierung und nach 126 h Kultivierung von *S. inulinus* in 100 mL Kulturkolben bei 38 °C, 0 rpm (siehe Kap. 3.3.5)

4.5.1.3 Fed-Batch mit Zugabe der metabolisierten Aminosäuren

Zum Nachweis der Limitierung durch die verbrauchten Aminosäuren wurde ein Fed-Batch-Versuch durchgeführt, in dem während der exponentiellen Phase nach 45 h durch Zugabe der verbrauchten Aminosäuren die Konzentration wieder auf die Startkonzentration eingestellt wurde. Zudem wurden 80 g/L Glucose und 60 g/L Calciumcarbonat zugegeben. Als Referenz diente ein analoger Fed-Batch-Ansatz, bei dem nach 45 h nur die gleiche Menge an Glucose und Calciumcarbonat addiert wurde, aber keine Aminosäuren.

4. Ergebnisse und Diskussion

Am Verlauf der Fed-Batch-Kultivierungen (Abb. 4.11) ist deutlich zu erkennen, dass sich durch die Zugabe der Aminosäuren die exponentielle Phase verlängert und sich die Lactatendkonzentration dadurch signifikant erhöht. Während ohne Zugabe der verbrauchten Aminosäuren nur $\beta^{\text{Lac}} = 140 \text{ g/L}$ erhalten wurde und 32 g/L Glucose (17 %) ungenutzt zurückblieben, konnte bei Zugabe der Aminosäuren die Glucose vollständig umgesetzt werden und es wurde $\beta^{\text{Lac}} = 172 \text{ g/L}$ erreicht. Damit liegt nachweislich eine Limitierung durch die umgesetzten Aminosäuren vor.

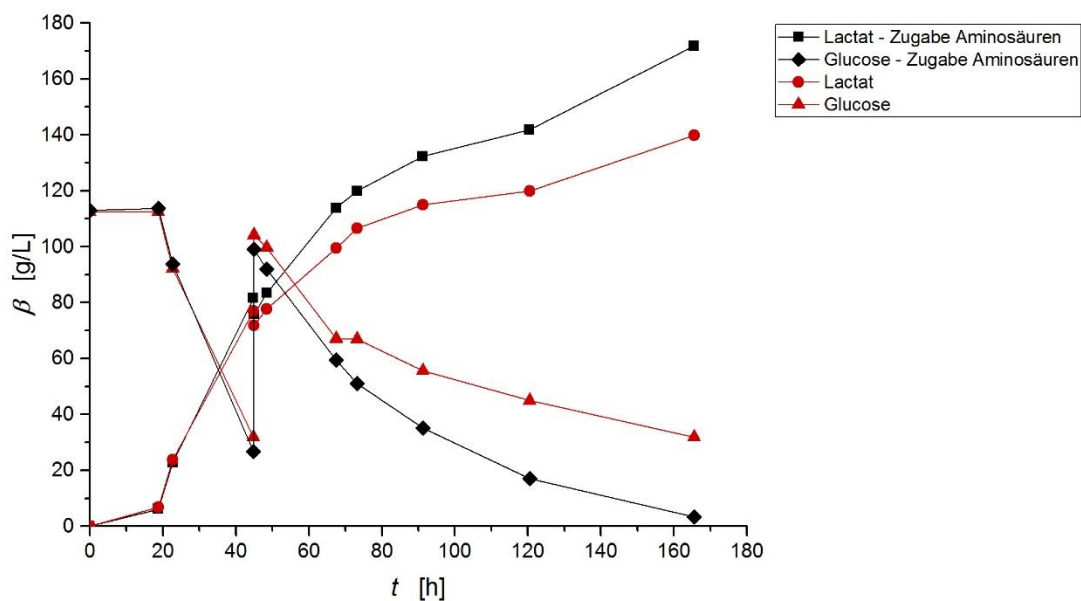


Abbildung 4.11: Fed-Batch-Versuch mit *S. inulinus* unter Zugabe von 80 g/L Glucose, 60 g/L CaCO_3 sowie mit und ohne Zugabe der Aminosäuren Glycin, Valin, Leucin, Isoleucin, Threonin, Serin, Asparagin, Methionin, Glutaminsäure, Phenylalanin, Tyrosin und Tryptophan nach 45 h; Standardproduktionsmedium, 100 mL Kulturkolben, 38 °C, 0 rpm (siehe Kap. 3.3.5 und Kap. 3.3.9)

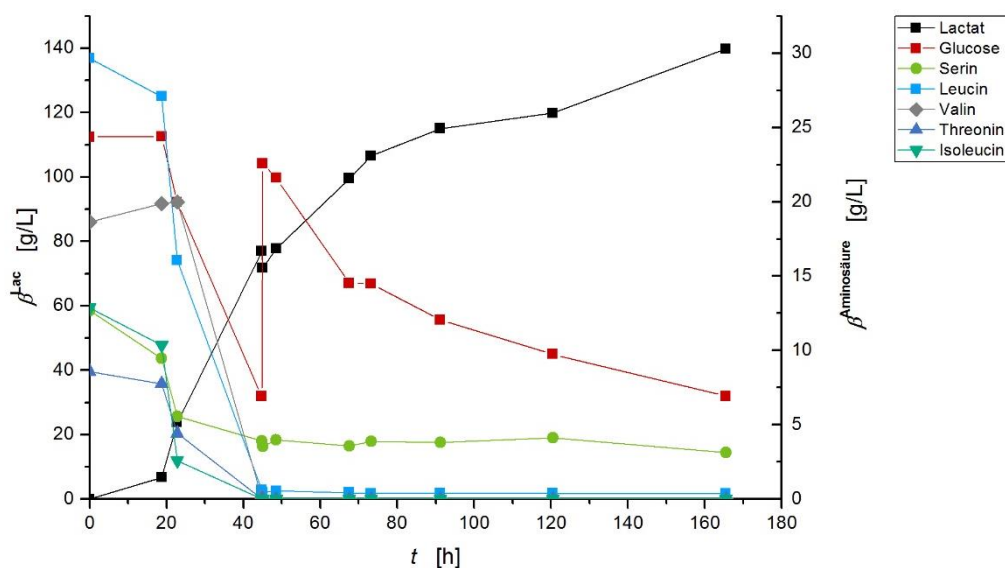


Abbildung 4.12: Konzentrationsverlauf der Aminosäuren Serin, Leucin, Valin, Threonin und Isoleucin sowie der Lactat- und Glucosekonzentration im Fed-Batch-Versuch mit *S. inulinus* unter Zugabe von 80 g/L Glucose, 60 g/L CaCO_3 ohne Zugabe zusätzlicher Aminosäuren Standardproduktionsmedium, 100 mL Kulturkolben, 38 °C, 0 rpm (siehe Kap. 3.3.5 und Kap. 3.3.9)

Der Konzentrationsverlauf der Aminosäuren im Fed-Batch-Ansatz ohne zusätzliche Zugabe von Aminosäuren verdeutlicht den Zusammenhang zwischen dem entstehenden Mangel an Aminosäuren und dem Rückgang der Lactatproduktion (Abb. 4.12). Bereits nach 45 h wurden Valin, Leucin, Isoleucin und Threonin vollständig umgesetzt. Ab diesem Zeitpunkt findet kein weiterer Verbrauch anderer Aminosäuren statt, was in Abb. 4.12 am Beispiel von Serin zu erkennen ist. Folglich kommt die Proteinbiosynthese von *S. inulinus* zum Erliegen. Die vorhandenen vitalen Zellen halten die Lactatproduktion aufrecht, sodass die Produktivität zunächst nur leicht abnimmt. Nach 67 h werden schließlich auch keine signifikanten Mengen an Lactat mehr gebildet.

Da im einstufigen Fed-Batch-Versuch unter Zugabe der metabolisierten Aminosäuren die Glucose vollständig umgesetzt werden konnte (Abb. 4.11), wurde, um die maximal erreichbare Lactatkonzentration herauszufinden, ein weiterer Fed-Batch-Versuch durchgeführt, indem nun nach 44,5 h und nach 76 h in zwei Stufen die verbrauchten Aminosäuren, jeweils 80 g/L Glucose und 60 g/L Calciumcarbonat zugegeben wurden. Außerdem wurde nochmals mit der im Hefeextrakt vorhandenen Menge an Vitaminen supplementiert, wobei im ersten Ansatz bei beiden Zugaben und im zweiten Ansatz nur bei der ersten Zugabe Vitamine zugefügt wurden.

Im zweistufigen Fed-Batch-Ansatz mit zweifacher Vitaminsupplementierung gelang es, mit *S. inulinus* die bisher höchste Lactatkonzentration von 222 g/L Lactat mit Hefeextrakt als Nährstoffquelle zu produzieren (Abb. 4.13), wobei die eingesetzte Glucose wieder vollständig verbraucht wurde und damit den limitierenden Faktor der Fermentation darstellte (Anhang A5.). Weitere Zugaben waren nicht möglich, weil große Mengen an Calciumlactat ausfielen und dies das Lösen weiterer Glucose im Medium unmöglich machte. Die zuvor höchste publizierte D-Lactatkonzentration auf Basis von Hefeextrakt beträgt 219 g/L. Sie wurde von Zhao *et al.* mit Maismehl als Substrat erzielt und konnte mit diesem Ansatz übertroffen werden.^[103]

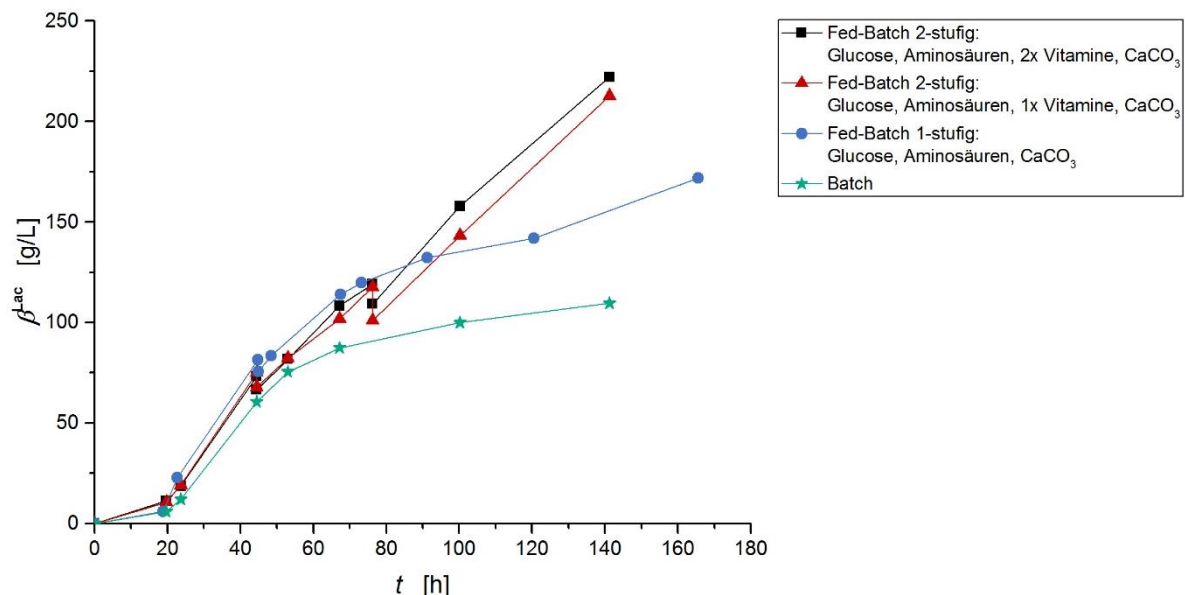


Abbildung 4.13: Zweistufige Fed-Batch-Kultivierung von *S. inulinus* in 300 mL Kulturkolben unter Zugabe von jeweils 80 g/L Glucose, 60 g/L CaCO_3 sowie den metabolisierten Aminosäuren und Vitaminen nach 44,5 h und 76 h im Vergleich zur einstufigen Fed-Batch-Kultivierung mit Zugabe der metabolisierten Aminosäuren ohne Zugabe von Vitaminen und zur Batch-Kultivierung mit Standardproduktionsmedium, 38 °C, 0 rpm (siehe Kap. 3.3.5 und Kap. 3.3.9)

In Abb. 4.13 ist auch zu erkennen, dass die beiden zweistufigen Ansätze, und bis zum zweiten Zugabepunkt auch der einstufige Fed-Batch-Versuch, nahezu gleiche Produktivitäten aufweisen. Die unterschiedlichen Vitaminzugaben scheinen somit zunächst keinen Einfluss auf die Lactatproduktion von *S. inulinus* zu haben, da der Grundbedarf an Vitaminen durch den Hefeextrakt gedeckt wird. Allerdings könnte die erhöhte Vitaminkonzentration im zweistufigen Fed-Batch-Versuch förderlich gewesen sein, um die hohe Produktivität bis zum

Ende der Fermentation aufrecht erhalten zu können, während sie im einstufigen Fed-Batch-Versuch nach etwa 70 h stark abnimmt. Die Produktivitäten betragen bis zur ersten Zugabe etwa $P_{\max}^1 = 2,7 \text{ g/(L}\cdot\text{h)}$, bis zur zweiten Zugabe $P_{\max}^2 = 1,8 \text{ g/(L}\cdot\text{h)}$ und danach $P_{\max}^3 = 1,7 \text{ g/(L}\cdot\text{h)}$. Hiermit konnte auch bewiesen werden, dass selbst bei hohem β^{Lac} keine Produkthemmung auftritt und β^{Lac} maßgeblich durch die verfügbaren Aminosäuren bestimmt wird.

4.5.1.4 Abbau der Proteine und Peptide

Die mild chemisch hergestellten Hydrolysate und kommerziell erhältlichen Hefeextraktersatzstoffe besitzen den Analyseergebnissen (Abb. 4.1) zufolge deutlich weniger freie Aminosäuren, stattdessen aber mehr Proteine und Peptide als die untersuchten Hefeextrakte. Ihr Aufschlussgrad ist damit geringer. Für die Fermentationen mit variierenden Nährstoffquellen wurde zwar eine konstante Gesamtstickstoffkonzentration beibehalten, dennoch war zu erkennen, dass mit den Hefeextrakten hohe β^{Lac} -Werte erreicht wurden, während β^{Lac} mit den Hefeextraktersatzstoffen und den mild chemisch hergestellten Rohstoffhydrolysaten sehr unterschiedliche Ergebnisse erhalten wurden (siehe Kap. 4.3.2). Da β^{Lac} maßgeblich durch die verfügbaren Aminosäuren beeinflusst wird, kann daraus geschlussfolgert werden, dass *S. inulinus* die Proteine und Peptide nur begrenzt verwerten kann. Um einen Einblick zu bekommen, ob und wie *S. inulinus* Peptide verwerten kann, wurde Hy-Soy® (Gesamtstickstoffgehalt entsprechend 10 g/L Hefeextrakt) eingesetzt, dass unter den kommerziell erhältlichen Hefeextraktersatzstoffen die geringsten Werte für β^{Lac} hervorbrachte. Während der Fermentation wurde die Konzentration von 19 freien Aminosäuren und nach einer chemischen Totalhydrolyse der entsprechende Gesamtgehalt der einzelnen Aminosäuren im Medium gemessen. Der Verlauf der Kultivierung und der Vergleich der Gehalte an freien und gesamten Aminosäuren sind in Abb. 4.14 für Valin, Leucin, Phenylalanin und Serin dargestellt, da am Beispiel dieser Aminosäuren die stärkste Abnahme beobachtet werden konnte. Mit Ausnahme von Alanin und Lysin, die während der Fermentation von *S. inulinus* gebildet werden, ist auch für die anderen untersuchten Aminosäuren ein ähnlicher Konzentrationsverlauf zu erkennen.

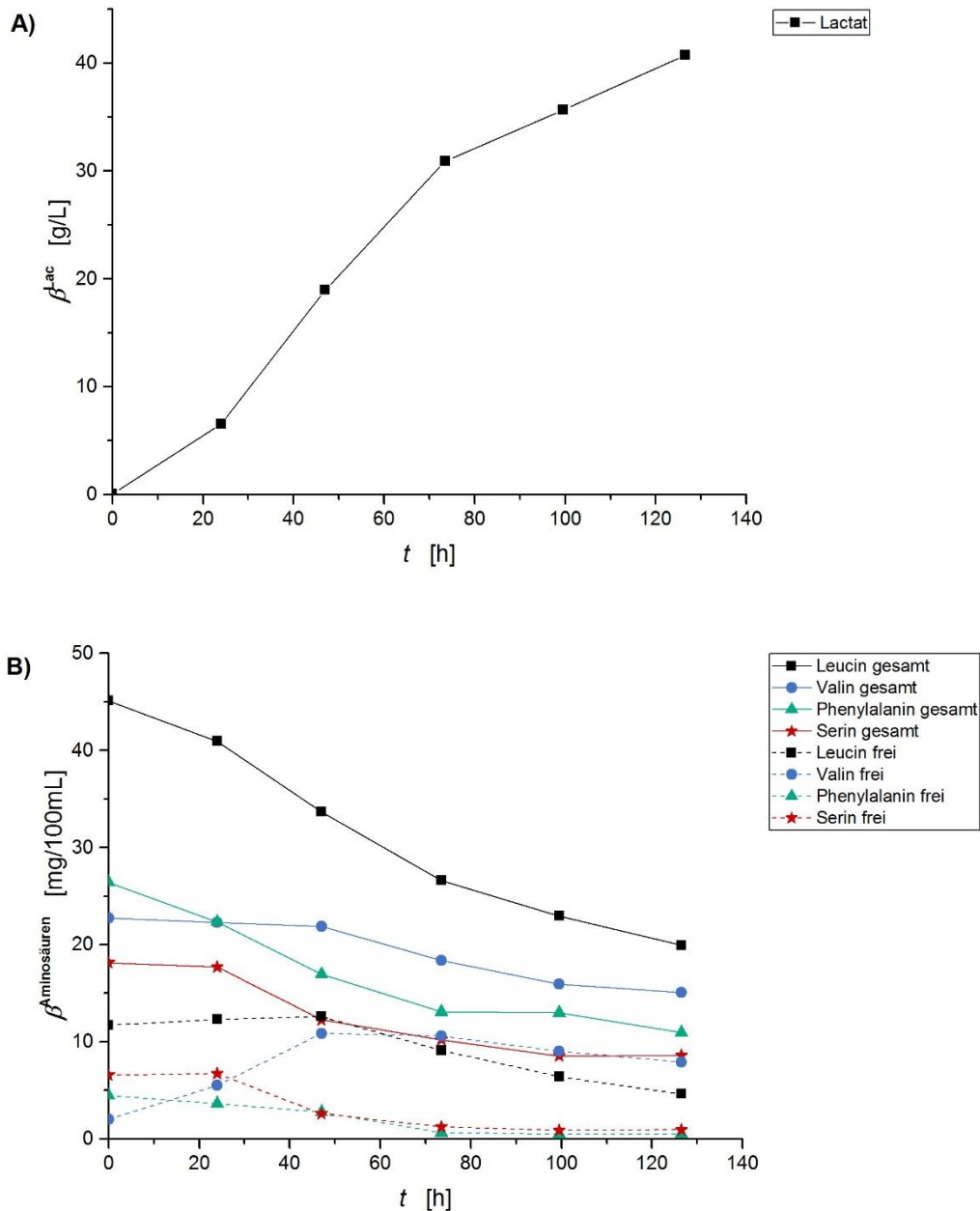


Abbildung 4.14: A) Lactatproduktion bei Kultivierung von *S. inulinus* in 100 mL Kulturkolben mit Hy-Soy® als Nährstoffquelle im Standardproduktionsmedium bei 38 °C, 0 rpm (siehe Kap. 3.3.5 und Kap. 3.3.7);
 B) Konzentrationsverlauf der freien und gesamten Aminosäuren im Standardproduktionsmedium mit Hy-Soy® während der Kultivierung von *S. inulinus* in 100 mL Kulturkolben bei 38 °C, 0 rpm (siehe Kap. 3.3.5 und Kap. 3.3.7)

Das Sojahydrolysat Hy-Soy besitzt laut Herstellerangaben eine geringe Molmassenverteilung von 25 % kleiner als 200 D und 58 % kurzer Peptide mit 200 – 500 D. Demnach sollte zur Verwertung der Peptide keine Proteaseaktivität nötig sein. Betrachtet man exemplarisch das

proteolytische System von *Lactococcus lactis* (Kap. 2.3.3.1), können die Peptide entweder über Oligopeptidtransporter direkt in die Zelle aufgenommen werden oder sie werden von Peptidasen extrazellulär gespalten und als freie Aminosäuren aufgenommen.

Zu Beginn der Fermentation kann die Zunahme einiger freier Aminosäuren beobachtet werden. Am deutlichsten ist dies für Valin zu erkennen, da dieses freigesetzt, aber während der ersten 47 h nicht abgebaut wird. Diese Beobachtung lässt darauf schließen, dass eine Peptidaseaktivität vorhanden ist. Leucin und Phenylalanin werden schon zu Beginn der Fermentation in großen Mengen verbraucht, die Konzentrationen an freiem Leucin und Phenylalanin bleiben jedoch nahezu konstant. Dies liegt vermutlich daran, dass die Freisetzungsgeschwindigkeit der freien Aminosäuren durch die Peptidasen hoch genug ist, um die Aufnahme der freien Aminosäuren in die Zelle auszugleichen. Eine Aufnahme von Leucin und Phenylalanin in Form von Peptiden ist aufgrund der Konzentrationsverläufe anderer Aminosäuren unwahrscheinlich, kann jedoch nicht ausgeschlossen werden. Die Serinkonzentration nimmt hingegen während der gesamten Fermentation in gleichem Maße ab, wie die Konzentration an freiem Serin. Nach 45 h ist dieser parallele Kurvenverlauf auch für die meisten anderen Aminosäuren zu beobachten. Die Peptidaseaktivität nimmt demnach ab und es werden nur noch freie Aminosäuren aufgenommen bis eine Limitierung auftritt. Da ein großer Teil der vorhandenen gebundenen Aminosäuren aufgrund der unzureichenden Hydrolyse ungenutzt bleibt, weist dies auf einen unzureichenden oder nur sehr selektiv funktionierenden Peptidtransport in *S. inulinus* hin. Diese Erkenntnis ist essenziell für die effiziente Nutzung alternativer Nährstoffquellen.

4.5.2 Einflussfaktoren auf die Produktivität

Die Einflussfaktoren auf die Lactatendkonzentration wurden in Kap. 4.5.1 aufgeklärt, immer noch unbekannt sind die tatsächlichen Einflussfaktoren auf die Produktivität von *S. inulinus*.

In Kap. 4.3.1 wurde festgestellt, dass durch die Reduktion des Merck Fermtech® Hefeextrakts im Medium eine starke Minderung der Produktivität verursacht wird (Abb. 4.6). Diese Tatsache soll nun genutzt werden, um die Einflussfaktoren auf die Produktivität zu identifizieren, indem die Hefeextraktkonzentration von 10 g/L auf 2 g/L reduziert wird. Ausgehend von 2 g/L Hefeextrakt können mithilfe der Supplementierung einzelner Stoffklassen Änderungen der Produktivitäten beobachtet werden und somit die Einflussfaktoren auf die Produktivität von *S. inulinus* identifiziert werden. Es wurde jeweils

4. Ergebnisse und Diskussion

der Gehalt analog zu 8 g/L Hefeextrakt zugegeben, sodass die Konzentration im Medium in Summe mit der in 10 g/L Hefeextrakt übereinstimmt. Auf diese Weise wurde die Wirkung von Aminosäuren, Vitaminen, Phosphat (als NaH_2PO_4), Ammonium (als $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) und einem reduzierten Start-pH-Wert von 4,5 statt 6,2 untersucht. Hierbei wurden die Aminosäuren eingesetzt, von denen in Kap. 4.5.1.2 festgestellt wurde, dass sie während der Fermentation metabolisiert werden. Ammonium wurde zum einen ergänzend zu den Aminosäuren und zum anderen als einzige Stickstoffquelle zugegeben (Abb. 4.15).

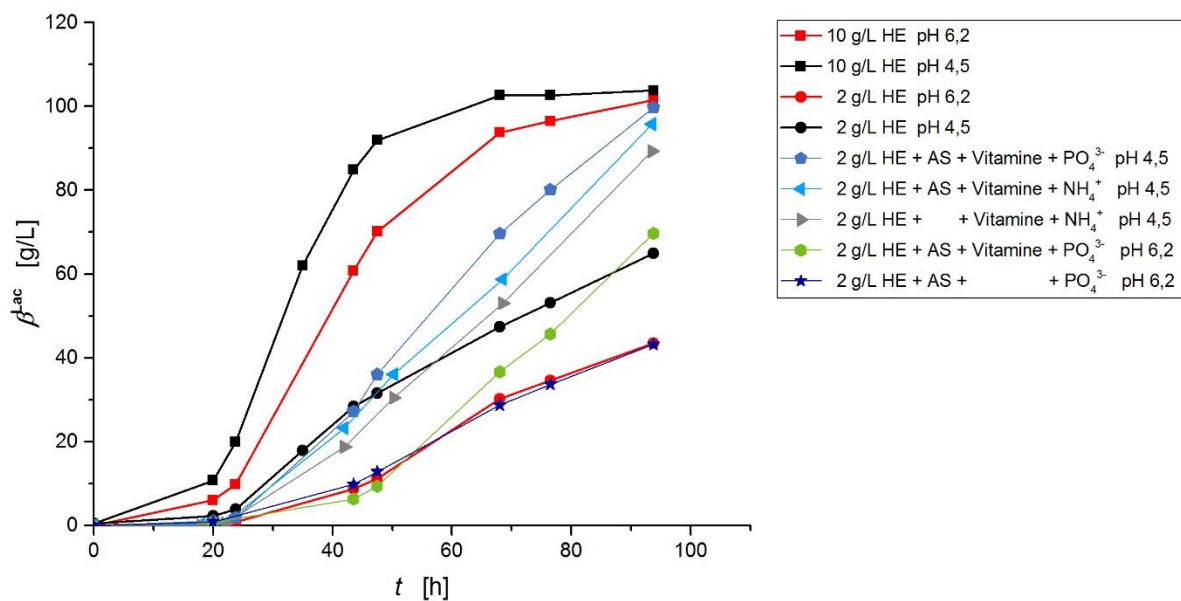


Abbildung 4.15: Kultivierung von *S. inulinus* mit 2 g/L Merck Fermtech® Hefeextrakt (HE) im Standardproduktionsmedium und Supplementierung mit verschiedenen Kombinationen der Stoffklassen Aminosäuren, Vitamine, Phosphat und Ammonium, 100 mL Kulturkolben, 38 °C, 0 rpm (siehe Kap. 3.3.5 und Kap. 3.3.8)

Tabelle 4.6: Produktivitäten von *S. inulinus* mit 2 g/L Merck Fermtech® Hefeextrakt im Standardproduktionsmedium und Supplementierung mit verschiedenen Kombinationen der Stoffklassen Aminosäuren, Vitamine, Phosphat und Ammonium, 100 mL Kulturkolben, 38 °C, 0 rpm (siehe Kap. 3.3.5 und Kap. 3.3.8)

Hefeextrakt	Supplementierung	P_{max} [g/(L·h)]
10 g/L pH 6,2		2,80
10 g/L pH 4,5		3,94
2 g/L pH 6,2		0,80
2 g/L pH 4,5		1,37
2 g/L pH 4,5	AS + Vitamine + PO_4^{3-}	1,84
2 g/L pH 4,5	AS + Vitamine + NH_4^+	1,60
2 g/L pH 4,5	Vitamine + NH_4^+	1,53
2 g/L pH 6,2	AS + Vitamine + PO_4^{3-}	1,46
2 g/L pH 6,2	AS + PO_4^{3-}	0,74

Durch das Herabsetzen von β^{H1} auf 2 g/L sinkt P_{max} mit pH 6,2 von 2,80 g/(L·h) auf 0,80 g/(L·h) bzw. mit pH 4,5 von 3,94 g/(L·h) auf 1,37 g/(L·h). Schon an diesen Referenzversuchen ist zu erkennen, dass der reduzierte Start-pH-Wert einen positiven Einfluss auf die Fermentation von *S. inulinus* hat. Durch die Zugabe von 60 g/L Calciumcarbonat zum Medium vor Beginn der Fermentation erhöht sich der pH-Wert und es liegt nicht der zuvor angepasste pH-Wert vor. Der positive Effekt kommt aber dadurch zustande, dass bei niedrigem Start-pH-Wert nach Einstellen des Löslichkeitsgleichgewichts höhere Konzentrationen an gelöstem Calcium und anderen Spurenelementen, die schwerlösliche Carbonate bilden, im Medium vorliegen. Dies führt zu einer Steigerung der Produktivität und einer signifikanten Verkürzung der *lag*-Phase.

Die größte Produktivitätssteigerung wurde jedoch durch Supplementierung mit Vitaminen erzielt. Alle Ansätze, die zusätzliche Vitamine enthielten, wiesen signifikant höhere Produktivitäten als die 2 g/L Hefeextrakt-Referenzen auf. Auf diese Weise konnte die Produktivität von *S. inulinus* von $P_{max} = 0,74$ g/(L·h) ohne Vitamine durch die Vitaminsupplementierung auf $P_{max} = 1,46$ g/(L·h) gesteigert werden. Ein Mangel an Aminosäuren führte in Anwesenheit von Ammonium nur zu einem geringen Produktivitätsverlust, da die ergänzende Zugabe von Ammonium zu den Aminosäuren einen fast identischen Verlauf der Produktionskurve zeigte. Dies lässt vermuten, dass durch die

Aminosäuren aus den eingesetzten 2 g/L Hefeextrakt der Einfluss der Aminosäurereduktion gemindert wurde. Phosphat hatte bei schwacher Lactatproduktion keinen Einfluss, bei hoher Produktion und damit einhergehend hohem Verbrauch ist hingegen eine Steigerung der Produktivität zu sehen.

Insgesamt konnte P_{\max} von 0,80 g/(L·h) durch Supplementierung mit Aminosäuren, Vitaminen und Phosphat und Reduktion des Start-pH-Werts auf $P_{\max} = 1,84$ g/(L·h) gesteigert werden, dennoch wurde nicht, wie mit $\beta^{H1} = 10$ g/L, $P_{\max} = 3,94$ g/(L·h) erreicht (Tabelle 4.6).

4.5.3 Einfluss der Einzelkomponenten

Bisher wurden zur Supplementierung stets ganze Stoffklassen betrachtet. Um zu sehen, welche Vitamine, Aminosäuren und Spurenelemente im Einzelnen für die Lactatproduktion von *S. inulinus* wichtig sind, wurde zunächst auf Basis der Analysendaten für Merck Fermtech® Hefeextrakt ein synthetisches Medium hergestellt, mit dem die Einflüsse der Einzelkomponenten untersucht werden können. Dazu wurden Kultivierungen in 96-Deep-Well-Mikrotiterplatten durchgeführt, bei denen jeweils eine Komponente aus dem synthetischen Medium entfernt wurde, sodass die Auswirkung des Fehlens auf die Lactatproduktion von *S. inulinus* beobachtet werden konnten.

Obwohl die Zusammensetzung des synthetischen Mediums auf den Analysendaten von Merck Fermtech® Hefeextrakt basiert, zeigt der Vergleich zwischen synthetischem Medium und Hefeextrakt-basiertem Medium, dass die Produktivität von *S. inulinus* mit synthetischem Medium deutlich geringer ist als mit dem Hefeextrakt (Abb. 4.16). Diese Differenz kommt dadurch zustande, dass im synthetischen Medium keine Nukleobasen, Nukleoside und Nukleotide enthalten sind, die einen positiven Einfluss auf das Wachstum von *S. inulinus* haben. Zum Nachweis wurde im Vergleich dazu das synthetische Medium mit Nukleobasen, Nukleosiden und Nukleotiden getestet. Dabei zeigte sich, dass mit diesem Medium eine ähnlich hohe Produktivität wie mit Hefeextrakt erreicht werden konnte, sich aber die lag-Phase verlängerte. Da die Zusammensetzung eines komplexen Stoffgemischs wie Hefeextrakt nicht vollständig aufgeklärt werden kann, liegen möglicherweise auch weitere nicht erfasste Komponenten und höhermolekularer Bestandteile vor, die einen positiven Effekt auf die Lactatproduktion ausüben. Für die Betrachtung der Einzelkomponenten bzw. ihrer Wirkung

auf die Lactatproduktion von *S. inulinus* wurde zunächst das synthetische Medium ohne Nukleobasen, Nukleoside und Nukleotide eingesetzt, da dieser Produktivitätsunterschied für diesen Zweck nicht von Bedeutung ist.

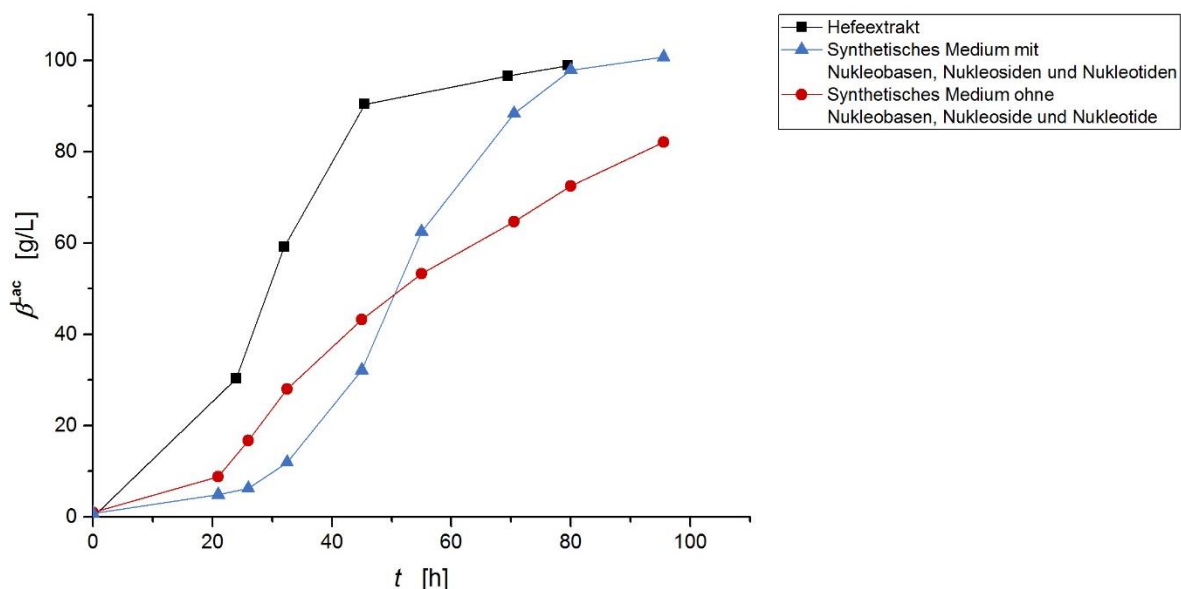


Abbildung 4.16: Kultivierung von *S. inulinus* mit vollsynthetischem Medium mit und ohne Zusatz von Nukleobasen, Nukleosiden und Nukleotiden im Vergleich zu 10 g/L Merck Fermtech® Hefeextrakt im Standardproduktionsmedium, 100 mL Kulturkolben, 38 °C, 0 rpm (siehe Kap. 3.3.5, Kap. 3.3.10 und Kap. 3.3.11)

4.5.3.1 Aminosäuren

Das Fehlen einzelner Aminosäuren hatte in den meisten Fällen keine Auswirkungen auf die Lactatproduktion von *S. inulinus*. Nur bei Leucin und Valin, die über einen analogen Biosyntheseweg gebildet werden, konnte eine Abnahme der Produktion beobachtet werden, wobei diese bei fehlendem Leucin nur gering ist (Abb. 4.17). Der Verbrauch von Valin während der Fermentation stellt somit eine Limitierung dar. In allen anderen Fällen konnte vermutlich das Fehlen einer einzelnen Aminosäure durch die Synthese aus einer anderen strukturähnlichen Aminosäure ausgeglichen werden. Phenylalanin und Tyrosin zum Beispiel können theoretisch in wenigen Schritten ineinander umgewandelt werden, wenn die nötigen Enzyme dafür vorhanden sind. Ein schlechteres Ergebnis ist demnach zu erwarten, wenn Kombinationen mehrerer Aminosäuren fehlen, wie es bei auftretender Limitierung zum Ende der Fermentation mit Hefeextrakt der Fall ist (Kap. 4.5.1.2). Da für diesen *S. inulinus*-Stamm aber bisher keine Genomsequenz vorliegt, kann keine detaillierte Aussage darüber getroffen

werden, welche Biosynthesewege vollständig kodiert sind. Das Fehlen aller Aminosäuren, die laut Kap. 4.5.1.2 während der Fermentation nicht aufgenommen werden, machte sich nur zu Beginn der Fermentation durch eine geringere Produktivität bemerkbar. Nach 66 h war keine Produktivitätsdifferenz zum kompletten synthetischen Medium mehr vorhanden (Abb. 4.17).

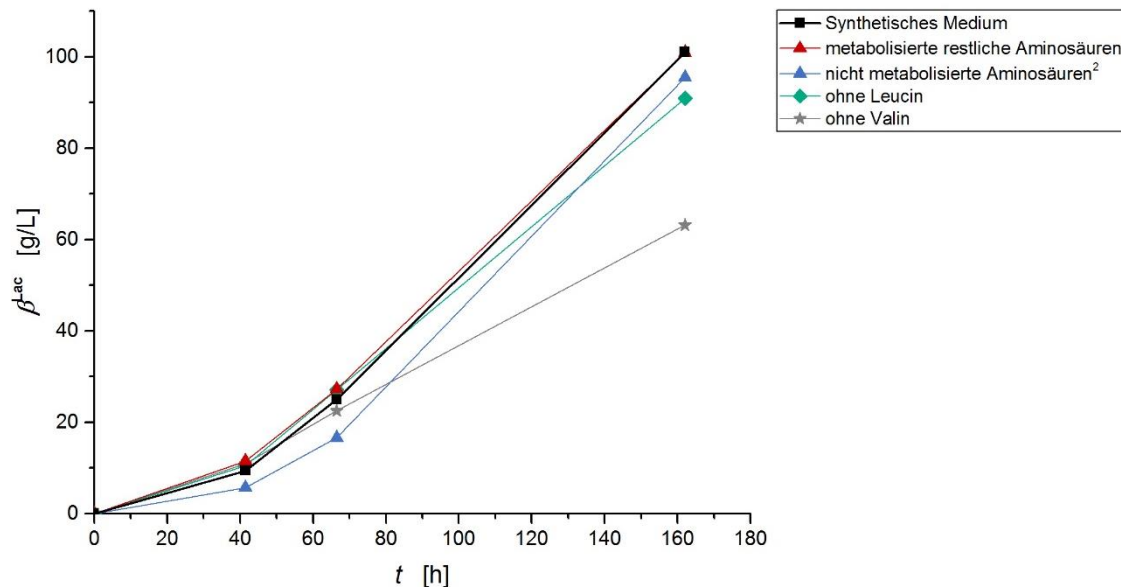


Abbildung 4.17: Einfluss der einzelnen Aminosäuren auf die Lactatproduktion von *S. inulinus* bei Kultivierung mit vollsynthetischem Medium in 96-Deep-Well-Mikrotiterplatten bei 38 °C, 0 rpm (siehe Kap. 3.3.5, Kap. 3.3.10 und Kap. 3.3.11)

¹ unter metabolisierte restliche Aminosäuren sind Kultivierungen ohne Glycin, Isoleucin, Threonin, Serin, Asparagin, Methionin, Glutaminsäure, Phenylalanin, Tyrosin und Tryptophan zusammengefasst. Sie wurden einzeln getestet und zeigten einen fast identischen Verlauf der Lactatproduktion.

² nicht metabolisierte Aminosäuren sind Alanin, Prolin, Asparaginsäure, Glutamin, Lysin und Histidin. Sie wurden in Kombination aus dem Medium entfernt.

4.5.3.2 Vitamine

In der Gruppe der B-Vitamine bewirkten fehlendes Thiamin (B1), Riboflavin (B2), Niacin (B3) und Ca-Pantothenat (B5) eine signifikant schwächere Lactatproduktion. Diese Vitamine dienen für eine Vielzahl von Enzymen als Cofaktoren. Thiamindiphosphat fördert beispielsweise als Cofactor der Pyruvatdehydrogenase die oxidative Decarboxylierung von Pyruvat zu Acetyl-CoA.^[125] Riboflavin und Niacin treten als FAD bzw. NADH und deren Analoga in vielen Stoffwechselwegen als Cofaktoren auf. Darunter aktiviert NADH auch die Lactatdehydrogenase und ist daher essenziell für die Lactatproduktion.^[126] Ca-Pantothenat ist

als Phosphopantothenyllinker von Coenzym A ebenfalls an vielen Stoffwechselwegen beteiligt.^[127] Das Fehlen von Pyridoxin (B6), Biotin (B7), Folsäure (B9) und Cyanocobalamin (B12) hatte keine Auswirkungen auf die Lactatproduktion (Abb. 4.18). Dieses Ergebnis stimmt mit der Beobachtung von Du Plessis überein, dass die von ihm untersuchten *Lactobacilli* alle Niacin, Riboflavin, Pantothersäure und entweder Thiamin oder Pyridoxin benötigten.^[77]

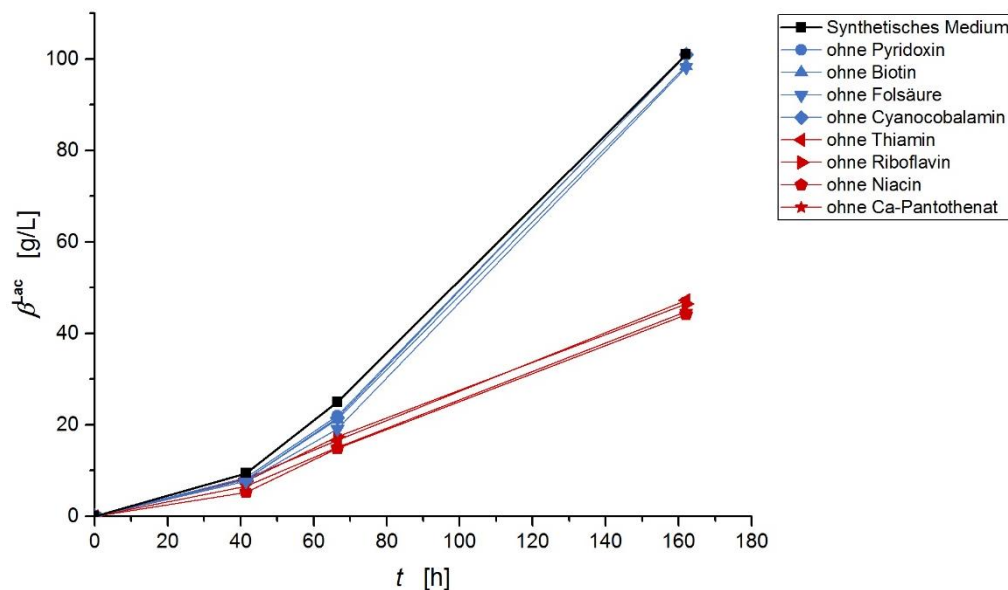


Abbildung 4.18: Einfluss der einzelnen B-Vitamine auf die Lactatproduktion von *S. inulinus* bei Kultivierung mit vollsynthetischem Medium in 96-Deep-Well-Mikrotiterplatten bei 38 °C, 0 rpm (siehe Kap. 3.3.5, Kap. 3.3.10 und Kap. 3.3.11)

4.5.3.3 Salze und Spurenelemente

Wie bereits anhand der ICP OES-Analyse des Fermentationsmediums (Kap. 4.5.1.1) sichtbar wurde, wird Phosphat während der Fermentation umgesetzt. Die Abwesenheit von Phosphat im Medium führte folglich zu einem Einbruch der Lactatproduktion (Abb. 4.19). Für die weiteren getesteten Spurenelemente Kalium, Magnesium, Natrium, Zink, Mangan und Eisen konnte kein Einfluss beobachtet werden. Da dieses Ergebnis im Widerspruch zu den in der Literatur beschriebenen Einflüssen von Mangan und Eisen als wichtige Spurenelemente für Milchsäurebakterien steht, wurden ICP-OES-Analysen durchgeführt. Dabei konnten anorganischen Verunreinigungen des Calciumcarbonats durch Al, Fe, Mg, Mn, Na, Sr

nachgewiesen werden (Anhang A6.). Da dieses in hoher Konzentration als Puffer eingesetzt wurde, konnte der Mangel teilweise ausgeglichen werden. Das Ergebnis wurde demnach für diese Elemente zwar verfälscht, stellt aber dennoch eine Minderung der Konzentration dar.

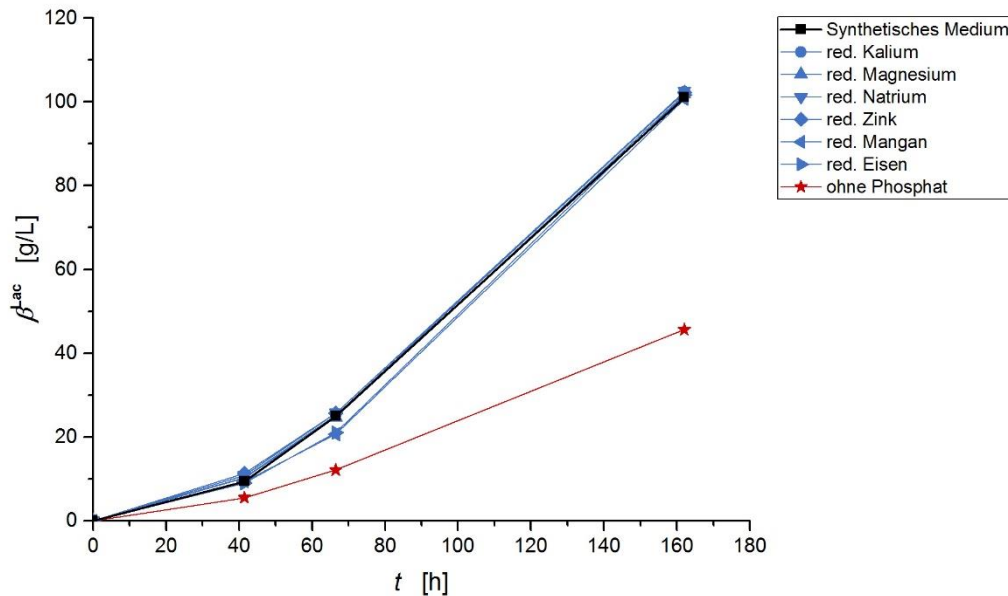


Abbildung 4.19: Einfluss der Salze und Spurenelemente auf die Lactatproduktion von *S. inulinus* bei Kultivierung mit vollsynthetischem Medium in 96-Deep-Well-Mikrotiterplatten bei 38 °C, 0 rpm (siehe Kap. 3.3.5, Kap. 3.3.10 und Kap. 3.3.11)

4.5.3.4 Nukleobasen, Nukleoside und Nukleotide

Nukleotide sind als Substrate der RNA und DNA Synthese sowie als Coenzyme (FAD und NADH) essenzielle Metaboliten und regulieren die Genexpression in der Zelle. Das Hinzufügen von Nukleobasen, Nukleosiden und Nukleotiden zum synthetischen Medium führte zu einer Steigerung der Produktivität und der erreichten Lactatkonzentration von *S. inulinus*. Der Einfluss der Nukleobasen (Adenin und Cytosin), der Nukleoside (Adenosin, Cytidin, Uridin, Guanosin und Thymidin) und der Nukleotide (AMP, ADP, ATP und GMP) wurde durch Mangel der Einzelkomponenten und der gesamten Gruppe im synthetischen Medium untersucht. Die Nukleobasen Adenin und Cytosin und die Nukleotide zeigten dabei keinen Einfluss auf die Lactatproduktion. Es ist bekannt, dass Nukleotide nur in dephosphorylierter Form als Nukleoside in die Zelle aufgenommen werden können, sodass sie, wenn keine extrazelluläre Nukleotidase vorhanden ist, nicht genutzt werden können.^[128]

Bei Mangel der Nukleoside Guanosin und Thymidin konnte eine deutliche Absenkung der Produktivität beobachtet werden (Abb. 4.20). Der Einfluss der Nukleobasen Guanin und Thymidin ist ungeklärt. Da ihre analogen Nukleoside einen Effekt zeigten und der Transport für Nukleobasen und Nukleoside theoretisch uneingeschränkt möglich ist, ist zu erwarten, dass auch Guanin und Thymin die Lactatproduktion fördern. Umgekehrt könnte der Mangel an Adenosin und Cytidin durch die vorhandenen Nukleobasen Adenin und Cytosin ausgeglichen werden und deshalb keine Abnahme der Lactatproduktion beobachtet werden.

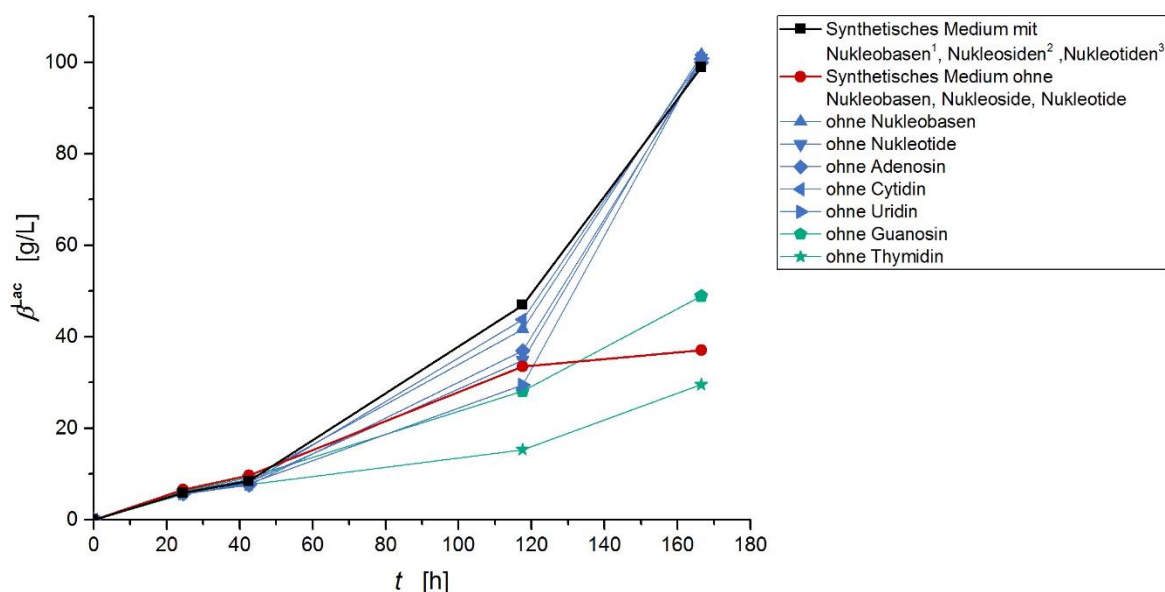


Abbildung 4.20: Einfluss der Nukleobasen, Nukleoside und Nukleotide auf die Lactatproduktion von *S. inulinus* bei Kultivierung mit vollsynthetischem Medium in 96-Deep-Well-Mikrotiterplatten bei 38 °C, 0 rpm (siehe Kap. 3.3.5, Kap. 3.3.10 und Kap. 3.3.11)

¹ Nukleobasen: Adenin und Cytosin

² Nukleoside: Adenosin, Cytidin, Uridin, Guanosin und Thymidin

³ Nukleotide: AMP, ADP, ATP, GMP

4.5.4 Fazit

Mithilfe einzelner Nährstoffmängel gelang es mit dem synthetischen Medium im 96-Deepwell-Mikrotiterplatten-Maßstab die Einzelkomponenten zu ermitteln, die die Lactatproduktion von *S. inulinus* beeinflussen. Dabei konnten unter den Aminosäuren Valin und Leucin als limitierende Faktoren identifiziert werden. Bei den Vitaminen hatte ein Mangel an Thiamin, Riboflavin, Niacin und Ca-Pantothenat einen starken Einbruch der Lactatproduktion zur Folge. Salze und Spurenelemente zeigten mit Ausnahme von Phosphat in dem verwendeten

Calciumcarbonat-gepufferten System keinen Einfluss. Bei Nutzung eines anderen Neutralisationsmittels sind aber auch hier Unterschiede in der Produktivität zu erwarten. Desweiteren konnte die fördernde Wirkung der Nukleoside Guanosin und Thymidin nachgewiesen werden. Ob dieser Effekt auch bei Guanin und Thymin auftritt und inwiefern sich Adenin und Adenosin bzw. Cytosin und Cytidin ersetzen können, sollte ggf. bei Bedarf näher untersucht werden.

Diese Beobachtungen stimmen nur teilweise mit dem Ergebnis der PLS-Analyse (Kap. 4.4.2) überein. Tatsächlich sind die Vitamine, die theoretisch keinen großen Beitrag leisteten, die Haupteinflussfaktoren der Produktivität. Die Aminosäuren Isoleucin und Serin werden während der Fermentation verbraucht und sind daher durchaus wichtig für das Wachstum von *S. inulinus*, im Einzeltest zeigte sich aber keine Steigerung der Produktivität. Der Einfluss von Phosphat auf die Lactatproduktion, der sich im Ergebnis der PLS-Analyse in der Variablen Phosphor widerspiegelte, konnte experimentell bestätigt werden.

Daraus kann das Fazit gezogen werden, dass die verwendeten statistischen Methoden, die häufig Anwendung in der Medienoptimierung finden, keine verlässlichen Ergebnisse lieferten. Dennoch waren die dafür durchgeführten Analysen der Zusammensetzung der Nährstoffquellen mit einem enormen Arbeitsaufwand verbunden. Tatsächlich lieferte aber die konventionelle Medienoptimierung durch eine strategische Vorgehensweise deutlich bessere und verlässliche Ergebnisse bei geringerem Arbeitsaufwand.

Die hier gewonnenen Informationen sind für die Nutzung agrarischer Reststoffe als Nährstoffquelle von größter Bedeutung, da damit nun die Anforderungen an die Nährstoffquelle bekannt sind. Für *S. inulinus* bedeutet dies, dass Phosphat und die Vitamine B1-B5 (Thiamin, Riboflavin, Niacin und Ca-Pantothenat) zusätzlich supplementiert werden müssen, während die Aminosäuren und Nukleinsäurefragmente in pflanzlichem Material vorhanden sind. Der nächste äußerst wichtige Schritt ist daher, durch eine geeignete Hydrolysemethode die Nutzbarkeit der Nährstoffe, insbesondere Aminosäuren und Nukleinsäuren, durch *S. inulinus* zu erhöhen.

4.6 Einfluss der Hydrolyse der Nährstoffquelle auf die Lactatproduktion von *Sporolactobacillus inulinus*

In Kap. 4.5.1.4 wurde festgestellt, dass die in den eingesetzten mild chemisch hergestellten Rohstoffhydrolysaten vorhandenen Peptide und Proteine von *S. inulinus* nur unzureichend verstoffwechselt werden können. Außerdem ist zu erwarten, dass auch die Nukleinsäuren unter den bisherigen milden Hydrolysebedingungen nach Wang *et al.*^[101] als Polymere vorliegen und ungenutzt bleiben. Um alternative Rohstoffe als Nährstoffquellen effizient nutzbar zu machen, ist also ein höherer Hydrolysegrad nötig.

4.6.1 Einsatz chemischer Vollhydrolysate als Nährstoffquellen

Der hohe Hydrolysegrad soll durch Totalhydrolyse der Proteine mit 3M Schwefelsäure bei 110 °C für 24 h erreicht werden. Für diesen Versuch wurden diejenigen Rohstoffe ausgewählt, deren mild chemisch hergestellten Hydrolysate in Kap. 4.3.2 die besten Ergebnisse zeigten und die aufgrund ihres geringen Rohstoffpreises und ihrer Verfügbarkeit von großem Interesse sind. Zur Kultivierung der Vollhydrolysate wurden dem Medium Vitamine und Tryptophan zugefügt, da sich diese unter den vorliegenden Hydrolysebedingungen zersetzen, sowie Phosphat und Ammonium, um Limitierungen zu vermeiden. Als Referenz wurde Merck Fermtech® Hefeextrakt ohne weitere Vorbehandlung eingesetzt. Es zeigte sich zuvor, dass eine zusätzliche Hydrolyse des Hefeextrakts analog zu den Rohstoffen nicht zu einer Steigerung der Lactatproduktion von *S. inulinus* führt.

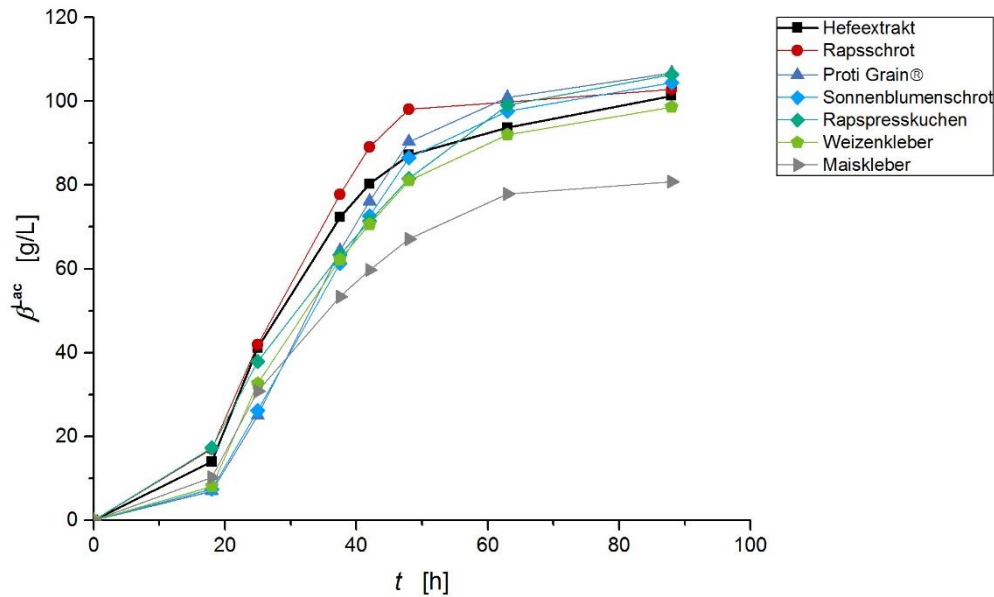


Abbildung 4.21: Einsatz verschiedener Vollhydrolysate im Vergleich zu Hefeextrakt (ohne Hydrolyse) als Nährstoffquelle für *S. inulinus* auf Basis des Standardproduktionsmediums, 100 mL Kulturkolben, 38 °C, 0 rpm (siehe Kap. 3.2.2, Kap. 3.3.5 und Kap. 3.3.13)

Tabelle 4.7: Lactatkonzentrationen und Produktivitäten bei Kultivierung von *S. inulinus* mit Vollhydrolysaten als Nährstoffquellen im Standardproduktionsmediums, 100 mL Kulturkolben, 38 °C, 0 rpm (siehe Kap. 3.2.2, Kap. 3.3.5 und Kap. 3.3.13)

Vollhydrolysat	β^{Lac}	P_{max} [g/(L·h)]
Hefeextrakt	101	3,27
Rapsextraktionsschrot	103	3,85
Proti Grain	107	3,44
Sonnenblumenextraktionsschrot	104	3,15
Rapspresskuchen	106	2,41
Weizenkleber	99	2,88
Maiskleber	81	2,29

In Abb. 4.21 und Tabelle 4.7 ist zu erkennen, dass durch den hohen Hydrolysegrad die Rohstoffe sehr effizient als Nährstoffquelle genutzt werden können, sodass mit *S. inulinus* teils sogar höhere P_{max} - und β^{Lac} -Werte als mit Hefeextrakt erreicht wurden. Lediglich Maiskleber führte zu einer geringeren Lactatkonzentration, möglicherweise bedingt durch ein ungünstiges Aminosäureprofil des Maisklebers. Dieses Ergebnis zeigt, dass sich für die

Kultivierung von *S. inulinus* eine Vielzahl an Rohstoffen als Nährstoffquelle effizient nutzen lässt, weil weniger die Art des Rohstoffs, sondern der Hydrolysegrad für die Lactatproduktion von entscheidender Bedeutung ist.

Ein Vergleich der Produktivitäten (Abb. 4.22), die bei verschiedenen Hydrolysegraden der Rohstoffe erzielt wurden, zeigt, dass in den meisten Fällen durch die milde Hydrolyse kaum ein Vorteil im Vergleich zum Rohstoff ohne vorherige Hydrolyse besteht. Die Totalhydrolyse führte hingegen zu einer enormen Steigerung der Produktivität. Die höchsten Produktivitäten wurden mit Vollhydrolysaten von Rapsschrot $P_{\max} = 3,85 \text{ g/(L}\cdot\text{h)}$ und Proti Grain® $P_{\max} = 3,44 \text{ g/(L}\cdot\text{h)}$ erhalten.

Ein ähnliches Bild liefert der Vergleich der erreichten Lactatkonzentrationen mit Nährstoffquellen verschiedener Hydrolysegrade (Abb. 4.23). Mit der Totalhydrolyse wurden stets die höchsten Lactatkonzentrationen erhalten, wobei die Differenz zur milden Hydrolyse bei Maiskleber relativ gering ausfiel. Verglichen mit Hefeextrakt wurden mit der Totalhydrolyse der Rohstoffe, mit Ausnahme von Maiskleber, mindestens ebenso hohe Lactatkonzentrationen erreicht. Proti Grain® führte dabei mit $\beta^{\text{Lac}} = 107 \text{ g/L}$ zur höchsten Lactatkonzentration.

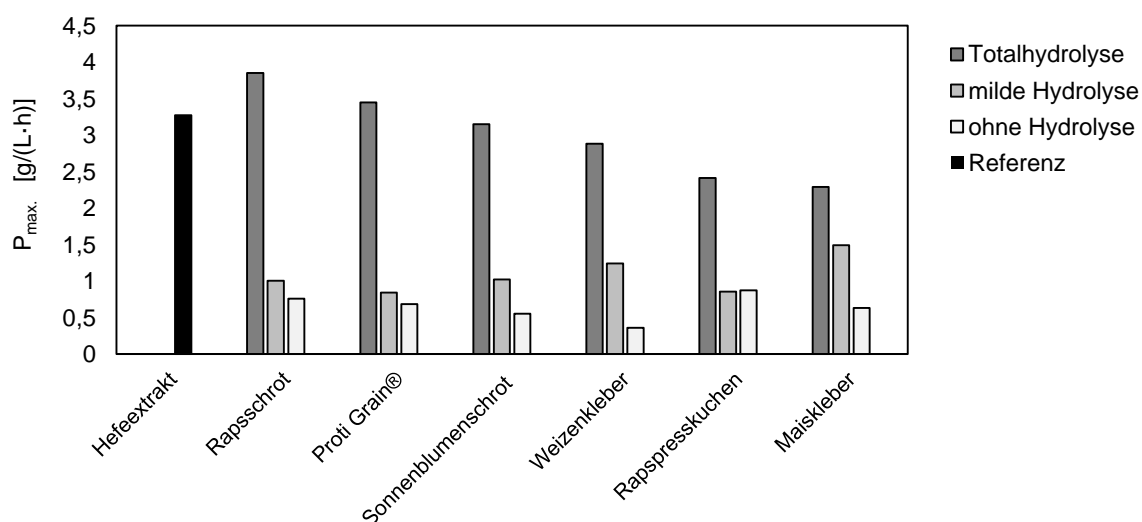


Abbildung 4.22: Vergleich der Produktivitäten von *S. inulinus* bei Totalhydrolyse (Kap. 3.2.2), milder Hydrolyse (Kap. 3.2.1) und ohne Hydrolyse des Rohstoffs (Kap. 3.3.12) mit verschiedenen Nährstoffquellen im Standardproduktionsmedium, 100 mL Kulturkolben, 38 °C, 0 rpm, Referenz: Merck Fermtech® Hefeextrakt (siehe Kap. 3.3.5 und Kap. 3.3.13)

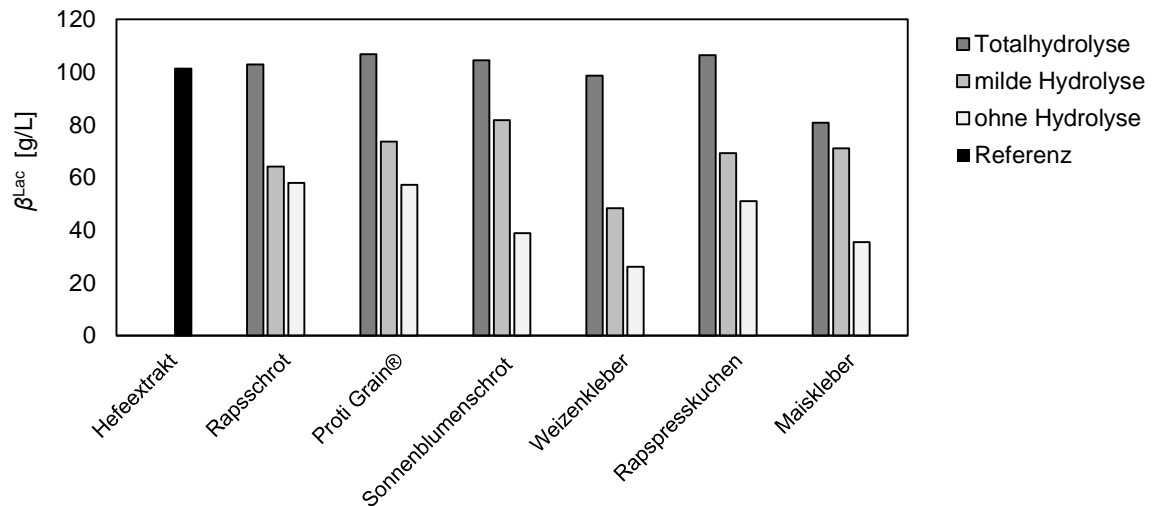


Abbildung 4.23: Vergleich der erreichten Lactatkonzentrationen nach von *S. inulinus* bei Totalhydrolyse (Kap. 3.2.2), milder Hydrolyse (Kap. 3.2.1) und ohne Hydrolyse des Rohstoffs (Kap. 3.3.12) mit verschiedenen Nährstoffquellen im Standardproduktionsmedium, 100 mL Kulturkolben, 38 °C, 0 rpm, Referenz: Merck Fermtech® Hefeextrakt (siehe Kap. 3.3.5 und Kap. 3.3.13)

Die chemische Totalhydrolyse ermöglicht eine äußerst effiziente Nutzung der Nährstoffquellen. Durch die eingesetzte Säure und die anschließende Neutralisation mit $\text{Ca}(\text{OH})_2$ entstehen zwar zusätzliche Kosten, diese sind aber gering verglichen mit den Kosten von Hefeextrakt. Um die Aufschluss- und Neutralisationskosten zu minimieren, wurde die eingesetzte Säurekonzentration sukzessiv verringert und der daraus resultierende Hydrolysegrad anhand des freien Aminostickstoffgehalts bestimmt. Im Anschluss wurde untersucht, wie sich die Reduktion der Säurekonzentration auf die Lactatproduktion von *S. inulinus* auswirkt.

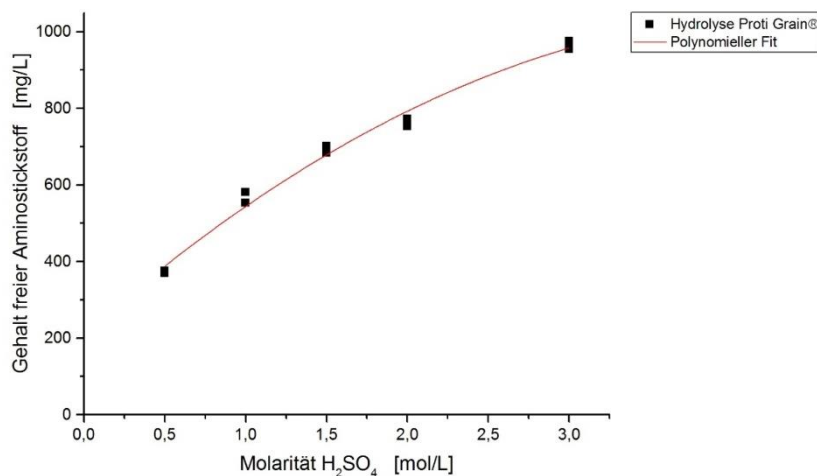


Abbildung 4.24: Korrelation zwischen eingesetzter Säurekonzentration zur Hydrolyse bei 110 °C, 24 h und dem Gehalt an freiem Aminostickstoff, bestimmt mit der Ninhydrin-Methode (siehe Kap. 3.2.2)

Die im Doppelansatz durchgeführten Hydrolysen erbrachten, sowohl im Hinblick auf die Lactatkonzentration als auch im Hinblick auf den Hydrolysegrad, gut reproduzierbare Ergebnisse. Dabei zeigte sich, dass der freie Aminostickstoffgehalt mit der eingesetzten Säurekonzentration korreliert (Abb. 4.24).

Der abnehmende Hydrolysegrad der Nährstoffquelle verursacht bei der Kultivierung mit *S. inulinus* eine Abnahme der Produktivität von $P_{\max} = 3,90 \text{ g/(L}\cdot\text{h)}$ mit 3M H_2SO_4 auf $P_{\max} = 2,73 \text{ g/(L}\cdot\text{h)}$ mit 1,5M H_2SO_4 , während sich die Lactatkonzentrationen nicht signifikant unterschieden. Außerdem trat mit abnehmendem Hydrolysegrad eine exponentielle Verlängerung der *lag*-Phase auf. Bei Hydrolyse mit 0,5M H_2SO_4 konnte kein Wachstum von *S. inulinus* beobachtet werden (Abb. 4.25).

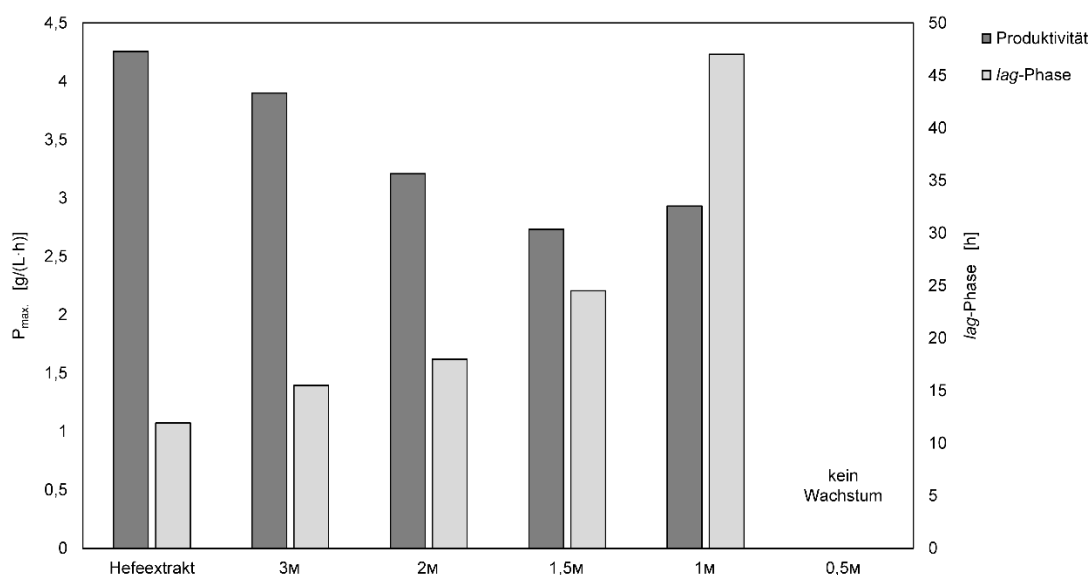


Abbildung 4.25: Auswirkung der geringeren Hydrolyse bei reduzierter Säurekonzentration auf die Produktivität und die *lag*-Phase von *S. inulinus* im Kulturkolben, Standardproduktionsmedium mit Proti Grain-Hydrolysat, 100 mL Kulturkolben, 38 °C, 0 rpm (siehe Kap. 3.2.2, Kap. 3.3.5 und Kap. 3.3.12)

4.6.2 Einsatz enzymatischer Hydrolysate am Beispiel von Rapsschrot

Neben der chemischen Hydrolyse besteht die Möglichkeit, die Rohstoffe enzymatisch vorzubehandeln. Hierzu wurden am Beispiel von Rapsschrot sechs verschiedene Proteasen getestet, mit denen der Rohstoff 48 h vorbehandelt wurde. Da der Vitamingehalt in Rapsschrot unbekannt ist, wurden, um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten, die gleichen

Vitaminkonzentrationen zugegeben, wie bei der chemischen Hydrolyse. Gleiches gilt für Phosphat und Ammonium.

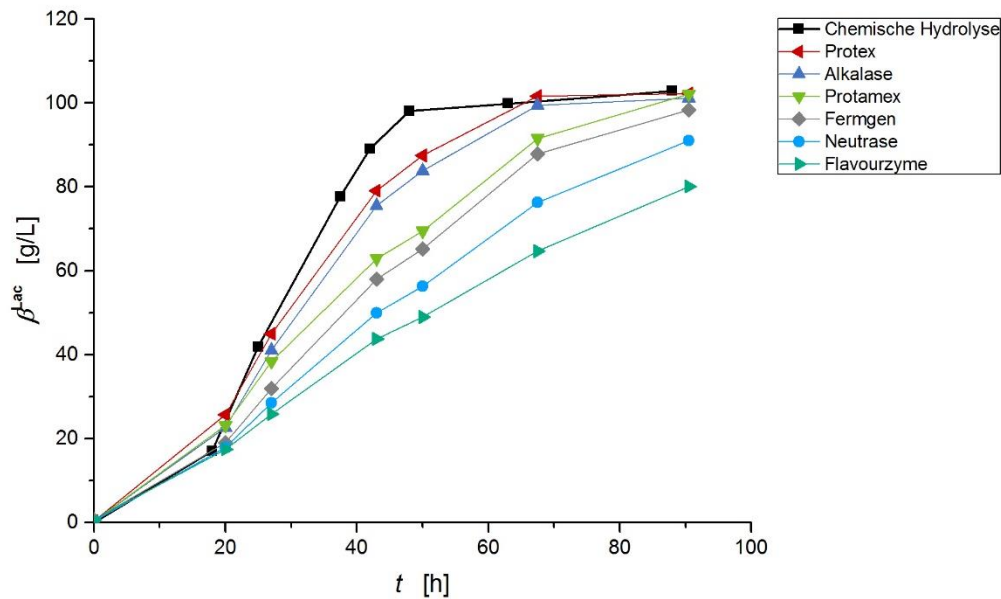


Abbildung 4.26: Lactatproduktion von *S. inulinus* bei Einsatz von enzymatisch hydrolysiertem Rapsschrot als Nährstoffquelle im Standardproduktionsmedium, 100 mL Kulturkolben, 38 °C, 0 rpm, bei Hydrolyse mit verschiedenen Proteasen (siehe Kap. 3.2.3, Kap. 3.3.5 und Kap. 3.3.12)

Tabelle 4.8: Einsatz verschiedener Proteasen zur enzymatischen Hydrolyse von Rapsschrot, resultierende freie Aminosäuren und Auswirkungen auf die Lactatproduktion von *S. inulinus* in 100 mL Kulturkolben bei 38 °C, 0 rpm (siehe Kap. 3.2.3, Kap. 3.3.5 und Kap. 3.3.12)

Enzym	Freie Aminosäuren [g/100 g]	β^{Lac}	P_{max} [g/(L·h)]
Protex	2,32	102	2,71
Alkalase	2,85	101	2,59
Protamex	1,33	102	1,75
Fermgen	1,61	102	1,72
Neutrase	1,67	98	1,40
Flavourzyme	2,92	80	1,15
Chemische Hydrolyse	27,0	103	3,85

Der Einsatz verschiedener Proteasen für die enzymatische Hydrolyse von Rapsschrot führt zu stark unterschiedlichen Kultivierungsergebnissen von *S. inulinus*. Während im Allgemeinen ähnliche Lactatkonzentrationen erreicht werden, variiert P_{max} bei verschiedenen eingesetzten

Proteasen. Dabei ist ein grober Zusammenhang zwischen P_{\max} und der freien Aminosäurekonzentration zu erkennen (Abb. 4.26, Tabelle 4.8). Die höchsten Produktivitäten lieferten hier Protex mit $P_{\max} = 2,71 \text{ g/(L}\cdot\text{h)}$ und Alkalase mit $P_{\max} = 2,59 \text{ g/(L}\cdot\text{h)}$, die zu einem vergleichsweise hohen Gehalt an freien Aminosäuren führten. Die höchste Konzentration an freien Aminosäuren wurde durch Hydrolyse mit Flavourzyme erzielt, der einzigen *exo*-Protease in diesem Versuch. Aufgrund der veränderten Selektivität dieses Enzyms führte die Hydrolyse im Gegensatz zu den *endo*-Proteasen zu einem stark abweichenden Profil der freien Aminosäuren (Anhang A7.). Zudem spalten *exo*-Proteasen nur einzelne Aminosäuren ab, während *endo*-Proteasen neben freien Aminosäuren auch Oligopeptide erzeugen, die bei kleiner Größe ebenfalls von *S. inulinus* genutzt werden können. Da die Oligopeptide mit der verwendeten Analyseverfahren nicht erfasst werden können, ist für die *endo*-Proteasen ein höherer Gehalt an tatsächlich nutzbaren Aminosäuren zu erwarten. Dadurch erbrachte Flavourzyme trotz hoher Konzentration an freien Aminosäuren mit $P_{\max} = 1,15 \text{ g/(L}\cdot\text{h)}$ und $\beta^{\text{Lac}} = 80 \text{ g/L}$ das schlechteste Ergebnis. Dass die Abhängigkeit zwischen dem Wirkungsgrad des Enzyms und P_{\max} keinen eindeutigen Trend zeigt, weist zudem darauf hin, dass teilweise DNase/RNase Fremdaktivitäten vorliegen und somit Nukleinsäuren hydrolysiert werden, die die Fermentation beeinflussen. Der Tabelle 4.8 ist zu entnehmen, dass durch Vorbehandlung mit Protex und Alkalase zwar deutlich mehr Aminosäuren freigesetzt wurden, als mit Protamex, Fermgen und Neutrase, eine chemische Vollhydrolyse, nach der in dieser Arbeit entwickelten Methode, aber mit Abstand am wirkungsvollsten ist. Im Allgemeinen wurde mit keinem der Enzyme die zuvor mit chemisch vollhydrolysiertem Rapsschrot erhaltene Produktivität von $P_{\max} = 3,85 \text{ g/(L}\cdot\text{h)}$ erreicht.

Wang *et al.* beschrieben eine Steigerung der Produktivität bei simultaner Hydrolyse von Erdnusskuchenhmehl mit Neutrase und Fermentation von *Sporolactobacillus inulinus* CASD.^[101] Da das pH-Optimum der Enzymaktivität bei 6 liegt und sich die Fermentationstemperatur im aktiven Bereich des Enzyms befindet, eignet sich Neutrase unter den hier verwendeten Fermentationsbedingungen zur simultanen Hydrolyse und Fermentation. Dies wurde am Beispiel von Rapsschrot im Vergleich zur separaten Hydrolyse getestet.

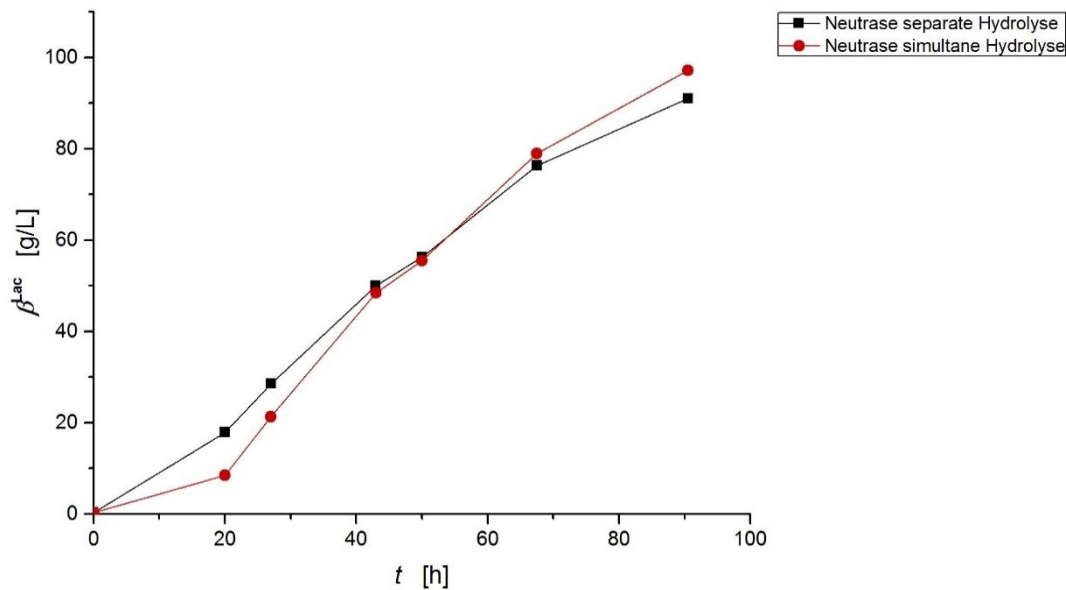


Abbildung 4.27: Vergleich der Lactatproduktion von *S. inulinus* bei separater und simultaner Hydrolyse von Rapsschrot mit Neutrase, Standardproduktionsmedium, 100 mL Kulturkolben, 38 °C, 0 rpm (siehe Kap. 3.3.5, Kap. 3.3.12 und Kap. 3.3.14)

Die simultane Hydrolyse und Fermentation (SSF) führte im Vergleich zur separaten Hydrolyse (SHF) nur zu einer leichten Produktivitätssteigerung von 1,40 g/(L·h) auf 1,74 g/(L·h), hatte allerdings auch eine längere *lag*-Phase zur Folge (Abb. 4.27). Somit ist der Vorteil insgesamt sehr gering und reicht nicht an die mit Protex erzielte $P_{\max} = 2,71$ g/(L·h) heran. Die Produktivitätssteigerung im SSF-Ansatz ist vermutlich auf eine höhere Aktivität des Enzyms zurückzuführen, da durch die Pufferung während der Fermentation der optimale pH-Bereich stabiler eingehalten werden kann und durch die direkte Metabolisierung der Aminosäuren keine Produkthemmung des Enzyms eintritt.

Die, verglichen mit dem SHF-Ansatz, hohen Produktivitäten bei chemischer Totalhydrolyse und enzymatischer Vorbehandlung mit Protex und Alkalase widersprechen der Annahme von Wang *et al.*^[101], dass Peptide einer bestimmten Größe bevorzugt aufgenommen werden, sondern unterstützen vielmehr die Annahme, dass freie Aminosäuren das Wachstum und die Lactatproduktion begünstigen.

4.7 Optimierte D-Lactat Produktion von *Sporolactobacillus inulinus* mit alternativen Nährstoffquellen

4.7.1 Optimierte D-Lactat Produktion von *Sporolactobacillus inulinus* am Beispiel von Rapsschrot

Als Nachweis der bisher gewonnenen Erkenntnisse über die Nährstoffanforderungen, die Limitierung der Endkonzentration durch Aminosäuren und die Nutzbarkeit alternativer Nährstoffquellen bei ausreichender Hydrolyse wurde nun ein Fed-Batch-Ansatz mit Rapsschrot-Vollhydrolysat (RS-VH) durchgeführt, der nur mit den essenziellen Vitaminen B1, B2, B3 und B5 sowie Phosphat und Ammonium supplementiert wurde. Tryptophan wird zwar während der Hydrolyse zersetzt, beeinflusste aber im Mikrotiterplatten-Test nicht die Lactatproduktion und wurde daher in diesem Ansatz nicht hinzugefügt. Während der Fermentation wurden nach 40 h und 60 h jeweils 8,84 g/L Rapsschrot-Vollhydrolysat, 80 g/L Glucose, 60 g/L Calciumcarbonat und die Startkonzentration an Vitaminen zugegeben. Als Referenz wurde der zweistufige Fed-Batch-Ansatz mit Hefeextrakt unter Zugabe der metabolisierten Aminosäuren und Vitaminen sowie eine Rapsschrot-Referenz, die die gesamte Vitaminsupplementierung (B1 – B12) und Tryptophan enthält, herangezogen.

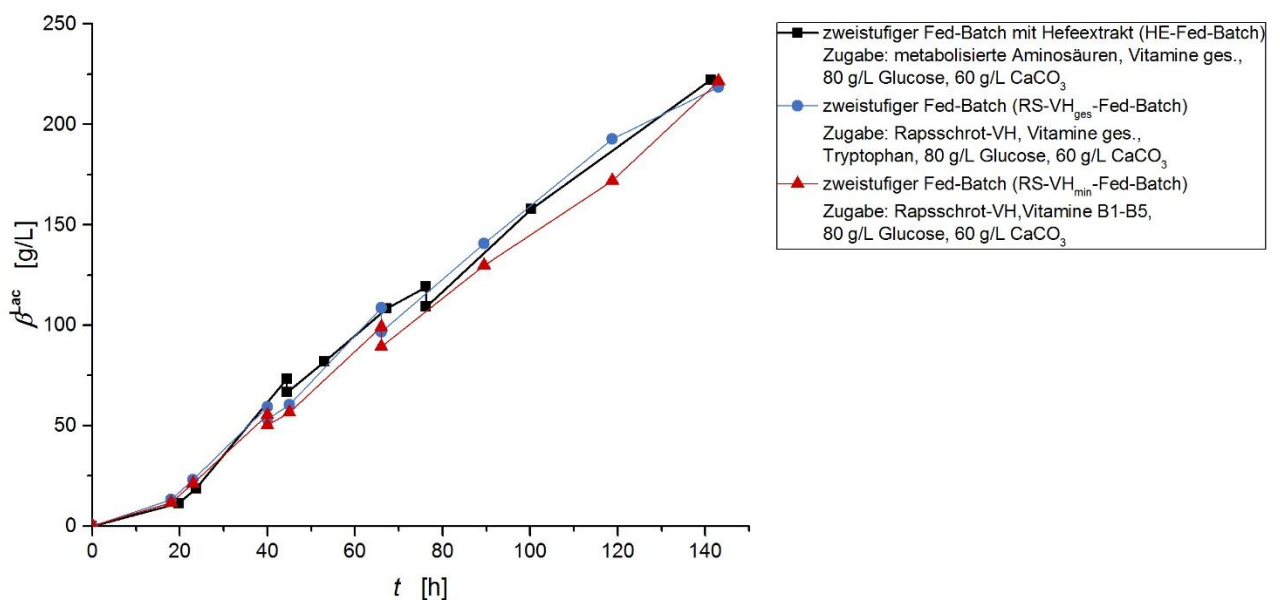


Abbildung 4.28: Kultivierung von *S. inulinus* im zweistufigen Fed-Batch mit Rapsschrot-Vollhydrolysat (RS-VH) bei Supplementierung mit Vitaminen B1-B5 (RS-VH_{min}-Fed-Batch) im Vergleich zur Supplementierung mit allen Vitaminen und Tryptophan (RS-VH_{ges}-Fed-Batch) und zum Fed-Batch-Ansatz mit Hefeextrakt (HE-Fed-Batch) (vgl. Kap. 4.5.1.3), 300 mL Kulturkolben, 38 °C, 0 rpm (siehe Kap. 3.2.2, Kap. 3.3.5, Kap. 3.3.12 und Kap. 3.3.15)

Tabelle 4.9: Produktivitäten von *S. inulinus* und Lactatkonzentrationen im Fed-Batch-Ansatz mit Rapsschrot-Vollhydrolysat (RS-VH) bei Supplementierung mit Vitaminen B1-B5 (RS-VH_{min}-Fed-Batch) verglichen mit gesamter Supplementierung (RS-VH_{ges}-Fed-Batch) und Fed-Batch-Ansatz mit Hefeextrakt (HE-Fed-Batch) (vgl. Kap. 4.5.1.3) 300 mL Kulturkolben, 38 °C, 0 rpm (siehe Kap. 3.2.2, Kap. 3.3.5, Kap. 3.3.12 und Kap. 3.3.15)

		HE-Fed-Batch	RS-VH_{ges}- Fed-Batch	RS-VH_{min}- Fed-Batch
P_{\max} bis zur 1. Zugabe	[g/(L·h)]	2,69	2,14	2,02
P_{\max} 1. bis 2. Zugabe	[g/(L·h)]	1,84	2,30	2,03
P_{\max} nach der 2. Zugabe	[g/(L·h)]	1,74	1,82	1,57
P_{gesamt}	[g/(L·h)]	1,57	1,53	1,55
$\beta_{143\text{ h}}^{\text{Lac}}$	[g/L]	222	219	221

Durch die Supplementierung mit den essenziellen Vitaminen wurden im Vergleich zur kompletten Vitaminsupplementierung keine signifikanten Einbußen an P_{\max} beobachtet (Abb. 4.28, Tabelle 4.9). Insgesamt waren die Produktivitäten von *S. inulinus* in diesem Versuch niedriger, als die zuvor erreichten 3,85 g/(L·h). Der Grund dafür ist vermutlich eine Alterung der Vitaminlösungen. Da die gezeigten Ansätze parallel durchgeführt wurden, ist die Vergleichbarkeit und die Aussage dieses Versuchs dennoch gewährleistet. Nach 143 h wurde mit minimaler Supplementierung ausgehend von Rapsschrot-Vollhydrolysat $\beta^{\text{Lac}} = 221$ g/L mit einer Ausbeute von 96 % erhalten. Es gelang, sowohl die hohe Lactatendkonzentration, als auch die Gesamtproduktivität des Hefeextrakt-basierten Fed-Batch-Ansatzes (Kap.4.5.1.3) mit Rapsschrot-Vollhydrolysat mit minimaler Supplementierung zu reproduzieren. Obwohl es sich bei diesen Ansätzen um nicht optimierte Prozesse im Kulturkolben, also ohne Durchmischung, exakte pH-Kontrolle etc., handelt, konnten mit einer gezielten Supplementierung D-Lactatkonzentrationen erzielt werden, die im Literaturvergleich zu den höchsten publizierten Werten zählen. Wang *et al.* gelang es zwar, ausgehend von 40 g/L Erdnusskuchenmehl in einem Multistep-Fed-Batch-Ansatz eine maximale Lactatkonzentration von 226 g/L D-Lactat zu erreichen, jedoch lag die Ausbeute in diesem Versuch nur bei 84 %.^[101] Im Vergleich dazu wurde in dieser Arbeit mit insgesamt 35 g/L Rapsschrot-Vollhydrolysat eine vergleichbar hohe Lactatkonzentration erreicht, die nur durch den vollständigen Substratverbrauch limitiert war. Gleichzeitig konnte mit 96 % eine deutlich höhere Ausbeute erzielt werden und damit die Effizienz des Prozesses signifikant verbessert werden.

4.7.2 Einfluss der Nährstoffquelle auf die optische Reinheit des D-Lactats

Bei der Lactatproduktion von *S. inulinus* mit Hefeextrakt konnte D-Lactat in hoher optischer Reinheit erhalten werden. Ein Anteil an L-Lactat war dabei nicht messbar. Durch Variation der Nährstoffquelle zeigte sich jedoch eine Änderung der optischen Reinheit. Die aus den chiralen HPLC-Messungen resultierenden Enantiomerenüberschüsse (%ee) bei Kultivierung mit den chemisch vollhydrolysierten Rohstoffen sind in Tabelle 4.10 zusammengefasst.

Tabelle 4.10: Enantiomerenreinheit des mit *S. inulinus* erhaltenen D-Lactats mit Vollhydrolysaten als Nährstoffquelle im Standardproduktionsmedium, 100 mL Kulturkolben, 38 °C, 0 rpm

Nährstoffquelle	Enantiomerenüberschuss
	in %ee D-Lactat
Hefeextrakt	> 99
Rapsschrot	95,1
Proti Grain®	> 99
Sonnenblumenschrot	97,3
Rapspresskuchen	86,4
Weizenkleber	95,2
Maiskleber	91,5

S. inulinus wies bei Verwendung der verschiedenen Vollhydrolysate als Nährstoffquelle zwar eine ähnliche Lactatproduktion auf, die Enantiomerenreinheit nahm aber in den meisten Fällen ab. Mit Rapsschrot beträgt der Enantiomerenüberschuss 95,1 %ee. Chemisch vollhydrolysiertes Proti Grain® lieferte mit einer hohen Enantiomerenreinheit von >99 %ee, $P_{\max} = 3,44 \text{ g/(L}\cdot\text{h)}$ und $\beta^{\text{Lac}} = 107 \text{ g/L}$ ebenso gute Ergebnisse wie Hefeextrakt. Die geringste Enantiomerenreinheit wurde mit Rapspresskuchen von nur 86,4 %ee erhalten. Da die Enantiomerenreinheit für die Qualität des Produkts ausschlaggebend ist, ist zu klären welcher Faktor die Enantioselektivität von *S. inulinus* genau beeinflusst. Da die Kultivierung in Kulturkolben stattfand und daher keine pH-Regelung und einheitliche Durchmischung gegeben waren, kommen neben der Zusammensetzung der Nährstoffquelle auch die Fermentationsbedingungen als Einflussfaktoren in Frage. Dieses Problem blieb bisher noch ungeklärt.

4.8 Abschätzung der Hydrolysekosten

Hefeextrakt stellt mit einem durchschnittlichen Preis von 6.000 – 10.000 €/t einen großen Kostenfaktor im Nährmedium dar. In diesem Kapitel werden die entstehenden Kosten für Rapsschrot-Vollhydrolysat als Nährstoffquelle im Vergleich zu Hefeextrakt betrachtet. Die Kosten der restlichen Medienkomponenten bleiben bei der Lactatfermentation unverändert. Für den Einsatz des Vollhydrolysats sind neben dem Rohstoffpreis auch die Schwefelsäure zur Hydrolyse, das Calciumhydroxid als Neutralisationsmittel, supplementierte Vitamine und Phosphate sowie Investitionskosten und Personalkosten zu berücksichtigen. Die Prozessschritte der Hydrolyse sind in Abb. 4.29 schematisch dargestellt. Die Kalkulation der entstehenden Kosten pro 1.000 L Medium ist in Tabelle 4.11 wiedergegeben und eine detailliertere Berechnung der Kosten pro Jahr ist in Anhang A8. zu finden. Es handelt sich dabei lediglich um eine auf Literaturdaten gestützte Abschätzung der Kosten. Dabei wird für die Hydrolyse ein Arbeitsvolumen im Reaktor von 57.600 L (80 %) mit 8.300 Betriebsstunden bei einer Hydrolysedauer von 24 h vorausgesetzt. Dies entspricht der Hydrolyse von 4.402 t Rapsschrot bzw. einem jährlichen Fermentationsvolumen von 248.718.644 L Medium. Bei einer Endkonzentration von 100 g/L ist damit eine Lactatproduktion von 24.872 t pro Jahr möglich.

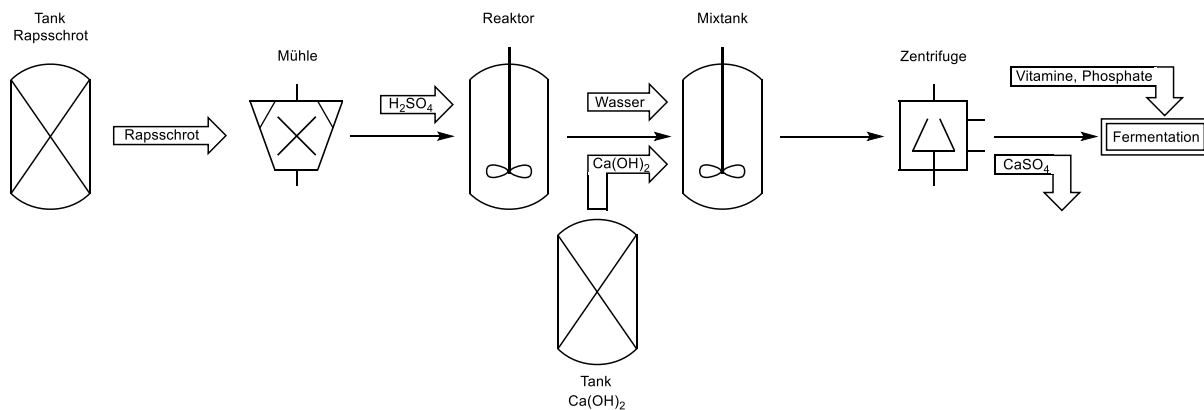


Abbildung 4.29: Schematische Darstellung der Stoffströme im Hydrolyseprozess

Tabelle 4.11: Entstehende Medienkosten zur Herstellung der Vollhydrolysate und Supplementierung im Vergleich zum Preis von Hefeextrakt

	Komponente	Preis [€/t]	Eingesetzte Konzentration	Preis pro 1.000 L Medium	Quelle
Referenz	Hefeextrakt	6.000 – 10.000	10 g/L	60 – 100 €	[13]
Vollhydrolysat					
• Rohstoff	Rapsschrot	202	17,7 g/L	3,58 €	[129]
• Hydrolysestoffe	Schwefelsäure	128	11,8 g/L	1,51 €	[130]
(bei Einsatz von 3M H ₂ SO ₄)	Calciumhydroxid	100	8,85 g/L	0,89 €	[131]
• Supplementierung	Thiamin · HCl	45.000	1,07 mg/L	0,048 €	[132]
	Riboflavin (80%ig)	31.000	495 µg/L	0,019 €	[132]
	Niacin	5.000	9,84 mg/L	0,049 €	[132]
	Ca-Pantothenat	39.000	2,37 mg/L	0,092 €	[132]
	KH ₂ PO ₄ */K ₂ HPO ₄ *	1.100	221 mg/L	0,97 €	
• Investitionskosten				0,49 €	
• Personal				0,80 €	
• Sonstige Ausgaben				0,16 €	
Summe				8,60 €	

*grobe Abschätzung anhand des Katalogpreises großer Handelsplattformen (Stand: September 2016)

Schwefelsäure wird hauptsächlich aus schwefelhaltigen Metallerzen hergestellt, wodurch der Preis von Schwefelsäure durch die Preise der Rohmetalle, insbesondere Kupfer, beeinflusst wird. Dies führte 2008 zu einem starken Preisanstieg.^[133] Neben dem Schwefelsäurepreis unterliegen auch die Marktpreise der B-Vitamine starken Schwankungen. Die B-Vitamine werden zu großen Teilen in China produziert, sodass der Preis häufig durch behördliche Auflagen beeinflusst wird. Die Rohstoffkosten für Rapsschrot enthalten in dieser Berechnung keine Transportkosten. Da in Kap. 4.6.1 gezeigt werden konnte, dass auch mit anderen Rohstoffen ähnlich hohe Produktivitäten und Lactatkonzentrationen erreicht werden können, kann Rapsschrot durch andere Rohstoffe substituiert werden und so auf lange Transportwege verzichtet werden. Ebenso wurden die Kosten für Wasser vernachlässigt, da das zur Hydrolyse und in den Waschschritten eingesetzte Wasser vollständig in das Fermentationsmedium einfließt und damit keine zusätzlichen Kosten verursacht.

Durch den Einsatz agrarischer Reststoffe, die im Durchschnitt 600 – 700 €/t Protein kosten (Anhang A8.), lassen sich die Kosten für die Nährstoffquelle je nach verwendetem Rohstoff auf ca. 8 – 10 €/1.000 L senken. Für Rapsschrot-Vollhydrolysat betragen die Gesamtkosten

ca. 8,60 €/1.000 L. Im Vergleich zu Hefeextrakt entspricht dies einer enormen Kostensenkung um 86 – 91 %. Dieser Betrag setzt sich zu 41,6 % aus Rohstoffkosten, zu 27,8 % aus Stoffkosten zur Hydrolyse und zu 13,7 % aus Kosten zur zusätzlichen Supplementierung zusammen. Hinzu kommen Investitionskosten, Personalkosten und sonstige Ausgaben (Abb. 4.30).

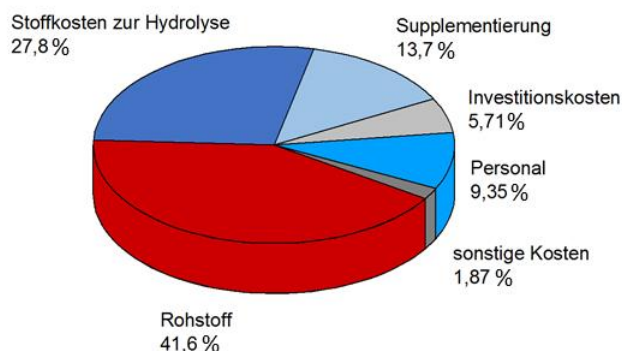


Abbildung 4.30: Zusammensetzung der Herstellungskosten von Rapsschrot-Vollhydrolysat bestehend aus Rohstoffkosten, Hydrolyse, Supplementierung, Investitionskosten und Personal

Die Stoffkosten zur Hydrolyse stellen mit 27,8 % den zweitgrößten Kostenfaktor dar. Da auch mit 2M H_2SO_4 ein effizienter Aufschluss erfolgte, wurden zum Vergleich die Kosten für den Fall einer auf 2 mol/L reduzierten Säurekonzentration betrachtet. Dazu wurden Rohstoff-, Investitions- und Personalkosten sowie die Supplementierung und sonstige Kosten nicht verändert. Auch in diesem Fall beträgt die jährliche Kostensenkung im Vergleich zu Hefeextrakt 87 – 92 % und stellt damit keine signifikante Verbesserung dar.

Die enzymatische Hydrolyse zeigt mit Blick auf die Hydrolysekosten einige Nachteile des Prozesses auf. Zum einen stellt das Enzym Protex™ 6L mit einem Preis von 17,71 €/kg trotz geringer Einsatzmenge (1 % bezogen auf den Proteingehalt) einen hohen Kostenfaktor dar, zum anderen ergibt sich durch die längere Inkubationszeit von 48 h nur die halbe Produktionskapazität. Desweiteren wird der Hydrolysegrad des eingesetzten Rohstoffs durch die Selektivität des Enzyms bestimmt, sodass diese Hydrolysemethode eine geringere Flexibilität aufweist. Im Vergleich zu Hefeextrakt beträgt die jährliche Kostenersparnis 85 – 91 %. Die mit den verschiedenen Hydrolysemethoden entstehenden Kosten für Hydrolysestoffe sind in Tabelle 4.12 zusammengefasst.

Tabelle 4.12: Vergleich der entstehenden Kosten für Hydrolysestoffe bei verschiedenen Hydrolysemethoden und jährliche Kostenersparnis im Vergleich zu Hefeextrakt

Hydrolysestoffe	Komponente	Preis [€/t]	Eingesetzte Konzentration	jährliche Kosten- ersparnis*	Quelle
bei Einsatz von 3M H ₂ SO ₄	Schwefelsäure	128	11,8 g/L		[130]
	Calciumhydroxid	100	8,85 g/L	86 – 91 %	[131]
bei Einsatz von 2M H ₂ SO ₄	Schwefelsäure	128	7,85 g/L		[130]
	Calciumhydroxid	100	5,90 g/L	87 – 92 %	[131]
bei enzymatischer Hydrolyse	Protex™ 6L	17.700	0,06 g/L	85 – 91 %	[134]

* im Vergleich zu 10 g/L Hefeextrakt (6.000 – 10.000 €/t) bei gleichbleibenden Rohstoff-, Investitions- und Personalkosten sowie sonstigen Kosten und gleicher Supplementierung

Die chemische Hydrolyse mit 3M H₂SO₄ führt unabhängig vom eingesetzten Rohstoff zu hohen Hydrolysegraden und bietet im Bezug auf Temperatur, Druck und Zeit noch ein hohes Optimierungspotenzial. Zudem lieferte sie im Hinblick auf die Lactatproduktion von *S. inulinus* und damit auch hinsichtlich der Kosteneffizienz des Hydrolyseprozesses im Vergleich das beste Ergebnis.

Bezogen auf die Lactatproduktion beträgt der Kostenanteil von Hefeextrakt je nach eingesetztem Substrat etwa 15 – 38 % der Gesamtkosten.[135],[136] Die durch die Hydrolyse mit 3M H₂SO₄ erreichte Kostensenkung der Nährstoffquelle um 86 – 91 % hätte somit eine Senkung des Lactatpreises um 13 – 33 % zur Folge.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Poly lactide (PLA) sind eine vielversprechende biobasierte Alternative zu petrochemisch-basierten Kunststoffen. Im Jahr 2014 wurde die weltweite Produktion von PLA bereits auf 120.000 t geschätzt.^[8] Dennoch wird das Marktwachstum zurzeit im Wesentlichen durch zwei Faktoren gedämpft: die physikalisch-technischen Eigenschaften von PLA und die Ökonomie der Milchsäurefermentation.^[137] Die physikalisch-technischen Eigenschaften können durch Synthese des isotaktischen Stereokomplexes (scPLA) verbessert werden, der eine höhere thermische und mechanische Stabilität besitzt.^[4] Für die Synthese von scPLA ist zunächst ein hochproduktiver Herstellungsprozess für enantiomerenreines D-Lactat nötig. Die Ökonomie der Milchsäurefermentation leidet an den hohen Nährstoffanforderungen der eingesetzten Milchsäurebakterien. Zur Bereitstellung der Nährstoffe werden teure komplexe Nährstoffquellen, wie Hefeextrakt eingesetzt. Der Einsatz kostengünstiger alternativer Nährstoffquellen führt hingegen meist zu einer geringeren Lactatproduktion.

Zur Lösung dieser beiden Problematiken wurde in dieser Arbeit am Beispiel der D-Lactatproduktion von *Sporolctobacillus inulinus* eine Strategie zur Aufklärung der Nährstoffanforderungen entwickelt. Auf Basis der dabei gewonnenen Informationen konnte durch eine spezifische Supplementierung die D-Lactatkonzentration gezielt gesteigert werden. Zudem gelang es erstmals alternative Rohstoffe mit einer chemischen Hydrolyse methode für *S. inulinus* als Nährstoffquelle effizient nutzbar zu machen und damit sowohl hervorragende Endkonzentrationen und Ausbeuten an D-Lactat als auch hohe Produktivitäten zu erreichen.

Zunächst wurde im Rahmen dieser Arbeit der Einfluss verschiedener Nährstoffquellen auf die D-Lactatproduktion von *S. putidus* und *S. inulinus* untersucht. Die Nährstoffquellen wurden dazu detailliert auf ihre Zusammensetzung analysiert. Dabei fiel auf, dass Hefeextrakte im Vergleich zu kommerziell erhältlichen Hefeextraktersatzstoffen und mild chemisch hergestellten Rohstoffhydrolysaten deutlich mehr freie Aminosäuren enthalten und mit beiden Stämmen in Kultivierungsexperimenten zu höheren Produktivitäten und Lactatkonzentrationen führten. Insbesondere für *S. inulinus* konnte eine starke Abhängigkeit der Lactatkonzentration von der Nährstoffquelle beobachtet werden. Die erhobenen Daten wurden anschließend mittels Clusteranalyse und PLS-Analyse statistisch ausgewertet, um in Kombination mit den entsprechenden Kultivierungsergebnissen mögliche Einflussfaktoren für die Lactatproduktion zu identifizieren. Die dadurch erhaltenen theoretischen Einflussfaktoren konnten experimentell nur teilweise bestätigt werden. Im Vergleich zu einer zielgerichteten

konventionellen Medienoptimierung zeigten die angewandten statistischen Verfahren keinen Vorteil. Sie lieferten keine verlässlichen Ergebnisse und waren mit einem sehr hohen Arbeitsaufwand verbunden.

Die konventionelle Medienoptimierung fokussierte sich im Folgenden auf die Aufklärung der Nährstoffanforderungen von *S. inulinus*. Anhand der Analysendaten zeigte sich bereits, dass der Gehalt an freien Aminosäuren ein äußerst wichtiger Faktor für die Lactatproduktion ist. Mithilfe eines Vorher-nachher-Vergleichs der Aminosäureanalysen konnte festgestellt werden, dass mehrere, insbesondere methylverzweigte Aminosäuren, wie Leucin, Isoleucin, Valin und Threonin, vollständig metabolisiert werden und es konnte bewiesen werden, dass dies der limitierende Faktor der Lactatproduktion von *S. inulinus* ist. In Fed-Batch-Ansätzen mit gezielter Zugabe dieser metabolisierten Aminosäuren, Vitaminen, Glucose und Calciumcarbonat gelang es, die Lactatkonzentration ohne signifikanten Produktivitätsverlust auf 222 g/L Lactat zu steigern und damit die bisher höchsten in der Literatur beschriebenen Lactattiter mit Hefeextrakt als Nährstoffquelle zu übertreffen.

Um die Einflussfaktoren auf die Produktivität zu ermitteln, wurde die Hefeextraktkonzentration von 10 g/L bei Standardbedingungen auf 2 g/L reduziert, sodass durch Supplementierung verschiedener Stoffklassen ein Wiederanstieg der Produktivität beobachtet werden konnte. Dabei resultierten insbesondere die Supplementierung mit Vitaminen und ein geringerer Start-pH-Wert in einer hohen Produktivitätssteigerung von $P_{\max} = 0,74 \text{ g/(L}\cdot\text{h)}$ auf $P_{\max} = 1,84 \text{ g/(L}\cdot\text{h)}$. Zur detaillierten Aufklärung, welche Komponenten im Einzelnen die Lactatproduktion von *S. inulinus* beeinflussen, wurde auf Basis der Analysendaten von Merck Fermtech® Hefeextrakt ein vollsynthetisches Medium entwickelt. Damit konnte durch Einstellen eines Mangels der Einzelkomponenten systematisch festgestellt werden, dass die Aminosäuren Leucin und Valin, die Vitamine Thiamin, Riboflavin, Niacin und Ca-Pantothenat, Phosphat und die Nukleoside Guanosin und Thymidin stimulierend auf die Lactatproduktion von *S. inulinus* wirken.

Am Beispiel des Hefeextraktersatzstoffs Hy-Soy wurde die Umsetzung von Proteinen durch *S. inulinus* untersucht und es zeigte sich dabei, dass *S. inulinus* nur bedingt in der Lage ist, Proteine zu metabolisieren. Der Konzentrationsverlauf der freien Aminosäuren im Vergleich zu deren Gesamtgehalt weist darauf hin, dass die Proteine während der Fermentation zwar in Peptide und teils auch in freie Aminosäuren gespalten werden können, aber hauptsächlich freie Aminosäuren in die Zellen aufgenommen werden. Dadurch bleibt ein Großteil der

Peptide und Proteine ungenutzt. Daraus ließ sich schließen, dass für die effiziente Nutzung alternativer Nährstoffquellen ein hoher Hydrolysegrad erforderlich ist.

Zur Erreichung eines höheren Hydrolysegrades wurde zunächst eine chemische Totalhydrolysemethode angewandt. Mit dieser Methode gelang es erstmals, mit verschiedenen Rohstoffen, wie Rapsschrot, Proti Grain und Sonnenblumenschrot die Produktivitäten und Lactatkonzentrationen drastisch zu steigern. Während mit Hefeextrakt $\beta^{\text{Lac}} = 101 \text{ g/L}$ und eine Produktivität von $P_{\text{max}} = 3,27 \text{ g/(L}\cdot\text{h)}$ erhalten wurde, erreichte die Fermentation von *S. inulinus* mit Rapsschrot-Vollhydrolysat sogar $\beta^{\text{Lac}} = 103 \text{ g/L}$ und $P_{\text{max}} = 3,85 \text{ g/(L}\cdot\text{h)}$. Am Beispiel von Rapsschrot wurden außerdem enzymatische Hydrolysemethoden getestet. Auf diese Weise konnte zwar ebenfalls eine deutliche Steigerung der Produktivität erzielt werden, das beste Ergebnis mit $P_{\text{max}} = 2,71 \text{ g/(L}\cdot\text{h)}$ fiel aber dennoch deutlich geringer aus als nach chemischer Totalhydrolyse. Anhand von Kultivierungen mit Nährstoffquellen verschiedener Hydrolysegrade konnte der Einfluss des Hydrolysegrades auf die Produktivität, die Lactatendkonzentration und die *lag*-Phase von *S. inulinus* nachgewiesen werden.

Beim Einsatz der chemischen Vollhydrolysate verschiedener Rohstoffe wurde eine Veränderung der Enantiomerenreinheit des D-Lactats beobachtet. Die Ursache für diesen Effekt blieb ungeklärt, da die Kultivierung ohne kontrollierte Prozessführung im Kulturkolben erfolgte. Der höchste Enantiomerenüberschuss von >99 %ee wurde mit Proti Grain® erhalten.

Die gewonnenen Informationen über die Anforderungen von *S. inulinus* wurden schließlich kombiniert zu einem zweistufigen Fed-Batch-Ansatz mit Rapsschrot-Vollhydrolysat bei minimaler Supplementierung mit Phosphat, Ammonium und den Vitaminen B1, B2, B3 und B5. Unter Zugabe von Rapsschrot-Vollhydrolysat und Vitaminen gelang es, nach 143 h eine außerordentlich hohe Lactatkonzentration von $\beta^{\text{Lac}} = 221 \text{ g/L}$ mit $P_{\text{gesamt}} = 1,55 \text{ g/(L}\cdot\text{h)}$ zu erzielen. Dabei wurde auch mit minimaler Supplementierung die gleiche Gesamtproduktivität und Endkonzentration wie bei kompletter Supplementierung und wie im Hefeextrakt-Fed-Batch-Versuch erhalten. Mit dem Einsatz von Rapsschrot-Vollhydrolysat ließen sich die Kosten der Nährstoffquelle von etwa 60 – 100 €/1.000 L bei Einsatz von 10 g/L Hefeextrakt auf 8,60 €/1.000 L reduzieren, was je nach Hefeextraktprice einer enormen Kostenersparnis für die Nährstoffquelle von 86 – 91 % entspricht.

Die in dieser Arbeit entwickelte Optimierungsstrategie lässt sich auf weitere Fermentationsprozesse übertragen und stellt daher eine wichtige Grundlage zur Optimierung

und Kostensenkung in allen biotechnologischen Prozessen dar, in denen bisher Hefeextrakt als Nährstoffquelle eingesetzt wird.

Im Hinblick auf die enzymatische Hydrolyse ist zu überprüfen, ob mithilfe einer pH-Regelung höhere Hydrolysegrade und damit auch höhere Produktivitäten erzielt werden können. Des Weiteren sollte die chemischen Hydrolysemethode im Folgenden dahingehend optimiert werden, mit einer geringeren Säurekonzentration über Temperatur, Druck und Zeit einen hohen Hydrolysegrad zu erreichen, um damit die Kosten und die Bildung von Calciumsulfat zu minimieren.

Für die weiterführende Optimierung der Fermentation von *S. inulinus* muss der Prozess zunächst auf ein Bioreaktorsystem übertragen werden, um weitere Einflussfaktoren, wie pH, Durchmischung und Begasung genau regulieren zu können.

Da die Enantiomerenreinheit maßgeblich für die Qualität des Produkts ist, ist zu klären, worin die Ursache für deren Veränderungen liegt. Dazu sollten neben der Zusammensetzung der Nährstoffquelle Faktoren, wie pH, Temperatur und Substrat- und Produktkonzentration in Betracht gezogen werden.

Literaturverzeichnis

- [1] PlasticsEurope **2015**, *Plastics – the Facts 2014/2015 An analysis of European plastics production, demand and waste data*, http://www.plasticseurope.org/documents/document/20150227150049-final_plastics_the_facts_2014_2015_260215.pdf, abgerufen am 27. Apr. 2016.
- [2] L. Shen, E. Worrell, M. Pate, Perspective: Present and future development in plastics from biomass, *Biofuels, Bioprod. Bioref.* **2010**, 4, 25 – 40.
- [3] European Bioplastics, Institute for Bioplastics and Biocomposites Hochschule Hannover, nova-Institute **2015**, *European bioplastics Driving the evolution of plastics*, http://docs.european-bioplastics.org/2016/association/EUBP_image_brochure.pdf, abgerufen am 27. Apr. 2016.
- [4] H. Tsuji, Poly(lactide) stereocomplexes: Formation, structure, properties, degradation, and applications, *Macromol. Biosci.* **2005**, 5, 7, 569 – 597.
- [5] S. Obuchi, S. Ogawa, Packaging and other commercial applications in *Poly(lactic acid) – Synthesis, structures, properties, processing and applications*, R. Auras, L.-T. Lim, S. E.M. Selke, H. Tsuji (Eds.), John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, **2010**, pp 457 – 467.
- [6] L. Nattrass, A. Higson **2010**, *NNFCC Renewable Chemicals Factsheet: Lactic Acid*, http://www.nnfcc.co.uk/publications/nnfcc-renewable-chemicals-factsheet-lactic-acid/at_download/file, abgerufen am 18. Mai 2016.
- [7] PlasticsToday **2011**, *Bioplastic demand spurs global growth in lactic acid production*, <http://www.plasticstoday.com/bioplastic-demand-spurs-global-growth-lactic-acid-production/192760731315253>, abgerufen am 03. Mai 2016.
- [8] E4tech, RE-CORD, WUR **2015**, *From the Sugar Platform to biofuels and biochemicals. Final report for the European Commission*, contract No. ENER/C2/423-2012/SI2.673791, <https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/EC%20Sugar%20Platform%20final%20report.pdf>, abgerufen am 29. Apr. 2016.
- [9] K. Fukushima, K. Sogo, S. Miura, Y. Kimura, Production of D-lactic acid by bacterial fermentation of rice starch, *Macromol. Biosci.* **2004**, 4, 1021 – 1027.

- [10] M. C. Curk, F. Peladan, J. C. Hubert, Caractérisation biochimique des lactobacilles brassicoles, *Lait* **1993**, 73, 215 – 231.
- [11] E. W. J. van Niel, B. Hahn-Hägerdal, Nutrient requirements of lactococci in defined growth media, *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **1999**, 52, 617 – 627.
- [12] E. I. Garvie, Bacterial lactate dehydrogenases, *Microbiol. Rev.* **1980**, 44, 1, 106 – 139.
- [13] Telefonische Anfrage am 08. Sep. 2016 bei der Ohly GmbH, Hamburg.
- [14] C. W. Scheele, *The collected papers of Carl Wilhelm Scheele*, translated by L. Dobbin, G. Bell and Sons, Ltd., London, **1931**.
- [15] H. Braconnot, Sur un acide particulier qui se développe dans les matières acescentes, *Ann. Chim.* **1813**, t86, 84 – 100.
- [16] August Vogel, Dankrede auf Heinrich August von Vogel gehalten in der öffentlichen Sitzung der königlichen Akademie der Wissenschaften, Verlag der königlichen Akademie, München, **1868**.
- [17] L. Pasteur, Über die Milchsäuregärung, *J. prakt. Chem.* **1858**, 73, 1, 457 – 460.
- [18] C. A. Wurtz, Recherches sur l'acide lactique, *Ann. Chim. Phys.* **1860**, 3, t59, 161 – 191.
- [19] H. Benninga, Lactic acid in soft drinks in *A history of lactic acid making: A chapter in the history of biotechnology*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, **1990**, pp 97 – 100.
- [20] Boehringer Ingelheim **2010**, *125 Jahre Boeringer Ingelheim Chronik*, https://www.boehringer-ingelheim.de/content/dam/internet/opu/de_DE/document/pdf/unternehmensprofil/Presseinformation125_Chronik.pdf, abgerufen am 04. Mai 2016.
- [21] Patent US 2441114 A, Process for hydrolyzing organic nitriles and dehydrating ethers, veröffentlicht 4. Mai 1948, V. K. Krieble, R. H. Smellie.
- [22] M. A. Abdel-Rahman, Y. Tashiro, K. Sonomoto, Recent advances in lactic acid production by microbial fermentation processes, *Biotechnol. Adv.* **2013**, 31, 877 – 902.
- [23] J. H. Litchfield, Lactic acid, microbially produced in *Encyclopedia of Microbiology 3rd Edition*, M. Schaechter (Ed.), Academic Press Elsevier Inc., Oxford, **2009**, pp 362 – 372.

- [24] M. A. Abdel-Rahman, Y. Tashiro, K. Sonomoto, Lactic acid production from lignocellulose-derived sugars using lactic acid bacteria: Overview and limits, *J. Biotechnol.* **2011**, 156, 286 – 301.
- [25] Merck Millipore, Sicherheitsdatenblatt Calciumlactat, http://www.merckmillipore.com/INTERSHOP/web/WFS/Merck-DE-Site/de_DE/-/EUR/ProcessMSDS-Start?PlainSKU=MDA_CHEM-102103&Origin=SERP, abgerufen am 09. Sep. 2016.
- [26] H.-W. Yen, T.-J. Chen, W.-C. Pan, H.-J. Wu, Effects of neutralizing agents on lactic acid production by *Rhizopus oryzae* using sweet potato starch. *World J. Microbiol. Biotechnol.* **2010**, 26, 437 – 441.
- [27] P.-B Yang, Y. Tian, Q. Wang, W. Cong, Effect of different types of calcium carbonate on the lactic acid fermentation performance of *Lactobacillus lactis*, *Biochem. Eng. J.* **2015**, 98, 38 – 46.
- [28] W. Groot, J. van Krieken, O. Sliekersl, S. de Vos, Production and purification of lactic acid and lactide in *Poly(lactic acid) – Synthesis, structures, properties, processing and applications*, R. Auras, L.-T. Lim, S. E.M. Selke, H. Tsuji (Eds.), John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, **2010**, pp 3 – 18.
- [29] K. L. Wasewar, Separation of Lactic acid: recent advances, *Chem. Biochem. Eng.* **2005**, 19, 2, 159 – 172.
- [30] J. Vijayakumar, R. Aravindan, T. Viruthagiri, Recent trends in the production, purification and application of lactic acid, *Chem. Biochem. Eng. Q.* **2008**, 22, 2, 245 – 264.
- [31] T. J. Pelouze, Mémoire sur l'acide lactique, *Ann. Chim. Phys.* **1845**, 3, t13, 257 – 268.
- [32] Patent US2703316 A, *Polymers of high melting lactide*, veröffentlicht 1. Mär. 1955, Du Pont, A. K. Schneider.
- [33] R. Auras, L.-T. Lim, S. E.M. Selke, H. Tsuji, *Poly(lactic acid) – Synthesis, structures, properties, processing and applications*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, **2010**, pp XVII – XIX.

- [34] Patent US6326458 B1, *Continuous process for the manufacture of lactide and lactide polymers*, veröffentlicht 4. Dez. 2001, Cargill Inc., P. R. Gruber, E. S. Hall, J. J. Kolstad, M. L. Iwen, R. D. Benson, R. L. Borchardt.
- [35] NatureWorksLLC **2005**, *NatureWorksLLC is new name for Cargill's corn-based plastic business*, <http://www.natureworkslc.com/News-and-Events/Press-Releases/2005/2-1-05-NatureWorks-LLC-is-New-Name>, abgerufen am 08. Mai 2016.
- [36] Y. Ikada, K. Jamshidi, H. Tsuji, S.-H. Hyon, Stereocomplex formation between enantiomeric poly(lactides), *Macromolecules* **1987**, 20, 4, 904 – 906.
- [37] J. M. Zhang, H. Sato, H. Tsuji, I. Noda, Y. Ozaki, Infrared spectroscopic study of CH₃ center dot center dot center dot O=C interaction during poly(L-lactide)/poly(D-lactide) stereocomplex formation, *Macromolecules* **2005**, 38, 5, 1822 – 1828.
- [38] NatureWorksLLC **2012**, *NatureWorks broadens Ingeo product portfolio with Sulzer proprietary production equipment*, <http://www.natureworkslc.com/News-and-Events/Press-Releases/2012/09-05-12-Sulzer-equipment-for-increased-Ingeo-production>, abgerufen am 09. Mai 2016
- [39] R. Datta, S. P. Tsai, P. Bonsignore, S. H. Moon, J. R. Frank, Technological and economic potential of poly(lactic acid) and lactic acid derivatives, *FEMS Microbiol. Rev.* **1995**, 16, 221 – 231.
- [40] K. H. Schleifer, W. Ludwig, Phylogenetic relationships of lactic acid bacteria in *The genera of lactic acid bacteria*, B. J. B. Wood, W. H. N. Holzapfel (Eds.), Springer Science+Business Media, Dordrecht, **1995**, pp 7 – 18.
- [41] F. J. Carr, D. Chill, N. Maida, The lactic acid bacteria: A literature survey, *Crit. Rev. Microbiol.* **2002**, 28, 4, 281 – 370.
- [42] D. Firtze, D. Claus, Spore-forming, lactic acid producing bacteria of the genera *Bacillus* and *Sporolactobacillus* in *The genera of lactic acid bacteria*, B. J. B. Wood, W. H. N. Holzapfel (Eds.), Springer Science+Business Media, Dordrecht, **1995**, pp 368 – 391.
- [43] M. S. Ou, L. O. Ingram, K. T. Shanmugam, L(+)-Lactic acid production from non-food carbohydrates by thermotolerant *Bacillus coagulans*, *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* **2011**, 38, 5, 599 – 605.

- [44] D.-E. Chang, H.-C. Jung, J.-S. Rhee, J.-G. Pan, Homofermentative production of D- or L-lactate in metabolically engineered *Escherichia coli* RR1, *Appl. Environ. Microbiol.* **1999**, 65, 4, 1384 – 1389.
- [45] S. Wieschalka, B. Blombach, M. Bott, B. J. Eikmanns, Bio-based production of organic acids with *Corynebacterium glutamicum*, *Microb. Biotechnol.* **2012**, 6, 2, 87 – 102.
- [46] E. Adachi, M. Torigoe, M. Sugiyama, J.-I. Nikawa, K. Shimizu, Modification of metabolic pathways of *Saccharomyces cerevisiae* by the expression of lactate dehydrogenase and deletion of pyruvate decarboxylase genes for the lactic acid fermentation at low pH value, *J. Ferment. Bioeng.* **1998**, 86, 3, 284 – 289.
- [47] R. H. W. Maas, J. Springer, G. Eggink, R. A. Weusthuis, Xylose metabolism in the fungus *Rhizopus oryzae*: effect of growth and respiration on L(+)-lactic acid production, *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* **2008**, 35, 569 – 578.
- [48] S. Hirayama, R. Ueda, Production of optically pure D-lactic acid by *Nannochlorum* sp. 26A4, *Appl. Biochem. Biotechnol.* **2004**, 119, 71 – 77.
- [49] C.-Y. Chen, K.-L. Yeh, R. Aisyah, D.-J. Lee, J.-S. Chang, Cultivation, photobioreactor design and harvesting of microalgae for biodiesel production: A critical review, *Bioresour. Technol.* **2011**, 102, 71 – 81.
- [50] Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union, Verordnung (EG) 1829/2003 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. September 2003 über genetisch veränderte Lebensmittel und Futtermittel (Abl. L 268 vom 18.10.2003, S. 1 – 23).
- [51] M. E. Sanders, Phage resistance in lactic acid bacteria, *Biochimie* **1988**, 70, 411 – 421.
- [52] O. Meyerhof, New Investigations on enzymatic glycolysis and phosphorylation, *Experientia* **1948**, IV/5, 169 – 176.
- [53] B. L. Horecker, M. Gibbs, H. Klenow, P. Z. Smyrniotis, The mechanism of pentose phosphate conversion to hexose monophosphate: I. with a liver enzyme preparation, *J. Biol. Chem.* **1954**, 207, 393 – 404.

- [54] Y. Wang, Y. Tashiro, K. Sonomoto, Fermentative production of lactic acid from renewable materials: Recent achievements, prospects and limits, *J. Biosci. Bioeng.* **2015**, 119, 1, 10 – 18.
- [55] G. Buyze, C. J. A. van den Hamer, P.G. de Haan, Correlation between hexose-monophosphate shunt, glycolytic system and fermentation-type in *Lactobacilli*, *Antonie van Leeuwenhoek, J. Microbiol.* **1957**, 23, 1, 345 – 350.
- [56] S. R. Elsdén, J. L. Peel, Metabolism of Carbohydrates and related compounds, *Annu. Rev. Microbiol.* **1958**, 12, 145 – 202.
- [57] S. Fukui, A. Ôi, A. Ôbayashi, K. Kitahara, Studies on the pentose metabolism by microorganisms I. A new type-lactic acid fermentation of pentoses by lactic acid bacteria, *J. Gen. Appl. Microbiol.* **1957**, 3, 4, 258 – 268.
- [58] I. C. Gunsalus, M. Gibbs, The heterolactic fermentation. II. Position of C¹⁴ in the products of glucose dissimilation by *Leuconostoc mesenteroides*, *J. Biol. Chem.* **1952**, 194, 2, 871 – 875.
- [59] N. Wagner, Q. H. Tran, H. Richter, P. M. Selzer, G. Unden, Pyruvate fermentation by *Oenococcus oeni* and *Leuconostoc mesenteroides* and role of pyruvate dehydrogenase in anaerobic fermentation, *Appl. Environ. Microbiol.* **2005**, 71, 9, 4966 – 4971.
- [60] K. Tanaka, A. Komiyama, K. Sonomoto, A. Ishizaki, S. J. Hall, P. F. Stanbury, Two different pathways for D-xylose metabolism and the effect of xylose concentration on the yield coefficient of L-lactate in mixed-acid fermentation by the lactic acid bacterium *Lactococcus lactis* IO-1, *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **2002**, 60, 160 – 167.
- [61] M. A. Abdel-Rahman, Y. Tashiro, T. Zendo, K. Sakai, K. Sonomoto, *Enterococcus faecium* QU 50: a novel thermophilic lactic acid bacterium for high yield L-lactic acid production from xylose, *FEMS Microbiol. Lett.* **2015**, 362, 1, 1 – 7.
- [62] K. Okano, S. Yoshida, T. Tanaka, C. Ogino, H. Fukuda, A. Kondo, Homo-D-lactic acid fermentation from arabinose by redirection of the phosphoketolase pathway to the pentose phosphate pathway in L-lactate dehydrogenase gene-deficient *Lactobacillus plantarum*, *Appl. Environ. Microbiol.* **2009**, 75, 15, 5175 – 5178.
- [63] I.-K. Yoo, H.-N. Chang, E.-G. Lee, Y.-K. Chang, S.-H. Moon, Effect of pH on the production of lactic acid and secondary products in batch cultures of *Lactobacillus casei*, *J. Microbiol. Biotechnol.* **1996**, 6, 6, 482 – 486.

- [64] M. Bobillo, V. M. Marshall, Effect of salt and culture aeration on lactate and acetate production by *Lactobacillus plantarum*, *Food Microbiol.* **1991**, 8, 153 – 160.
- [65] J. Wiegel, Formation of ethanol by bacteria. A pledge for the use of extreme thermophilic anaerobic bacteria in industrial ethanol fermentation processes, *Experientia* **1980**, 36, 1434 – 1446.
- [66] Y. Deguchi, T. Morishita, Nutritional requirements in multiple auxotrophic lactic acid bacteria: Genetic lesions affecting amino acid biosynthetic pathways in *Lactococcus lactis*, *Enterococcus faecium*, and *Pediococcus acidilactici*, *Biosci. Biotech. Biochem.* **1992**, 56, 6, 913 – 918.
- [67] K. L. Wasewar, Separation of lactic acid: recent advances, *Chem. Biochem. Eng. Q.* **2005**, 19, 2, 159 – 172.
- [68] J. Law, A. Haandrikman, Proteolytic enzymes of lactic acid bacteria, *Int. Dairy J.* **1997**, 7, 1 – 11.
- [69] M. W. Hunkapiller, S. H. Smallcombe, D. R. Whitaker, J. H. Richards, Carbon nuclear magnetic resonance studies of the histidine residue in α -lytic protease. Implications for the catalytic mechanism of serine proteases, *Biochem.* **1973**, 12, 23, 4732 – 4743.
- [70] J. D. Robertus, J. Kraut, R. A. Alden, J. J. Birktoft, Subtilisin; a stereochemical mechanism involving transition-state stabilization, *Biochem.* **1972**, 11, 23, 4293 – 4303.
- [71] N. Vermeulen, M. Pavlovic, M. A. Ehrmann, M. G. Gänzle, R. F. Vogel, Functional characterization of the proteolytic system of *Lactobacillus sanfranciscensis* DSM 20451 during growth in sourdough, *Appl. Environ. Microbiol.* **2005**, 71, 10, 6260 – 6266.
- [72] L. Hedstrom, Serine protease mechanism and specificity, *Chem. Rev.* **2002**, 102, 4501 – 4523.
- [73] E. R. S. Kunji, E. J. Smid, R. Plapp, B. Poolman, W. N. Konings, Di-tripeptides and oligopeptides are taken up via distinct transport mechanisms in *Lactococcus lactis*, *J. Bacteriol.* **1993**, 175, 7, 2052 – 2059.

- [74] Y. Sanz, F. C. Lanfermeijer, P. Renault, A. Bolotin, W. N. Konings, B. Poolman, Genetic and functional characterization of dpp genes encoding a dipeptide transport system in *Lactococcus lactis*, *Arch. Microbiol.* **2001**, 175, 5, 334 – 343.
- [75] B. Mayo, T. Aleksandrak-Piekarczyk, M. Fernández, M. Kowalczyk, P. Álvarez-Martín, J. Bardowski, Updates in the metabolism of lactic acid bacteria in *Biotechnology of lactic acid bacteria: Novel applications*, F. Mozzi, R. R. Raya, G. M. Vignolo (Eds.), Wiley-Blackwell, Ames **2010**, pp. 3 – 34.
- [76] E. R. S. Kunji, A. Hagting, C. J. de Vries, V. Juillard, A. J. Haandrikman, B. Poolman, W. N. Konings, Transport of β -Casein-derived peptides by the oligopeptide transport system is a crucial step in the proteolytic pathway of *Lactococcus lactis*, *J. Biol. Chem.* **1995**, 270, 4, 1569 – 1574.
- [77] L. de W. Du Plessis, The microbiology of south african winemaking. Part V. Vitamin and amino acid requirements of lactic acid bacteria from dry wines, *S. Afr. J. Agric. Sci.* **1963**, 6, 485 – 494.
- [78] P. M. Di Girolamo, R. J. Kadner, C. Bradbeer, Isolation of vitamin B₁₂ transport mutants of *Escherichia coli*, *J. Bacteriol.* **1971**, 106, 3, 751 – 757.
- [79] J. R. Waller, H. C. Lichstein, Biotin transport and accumulation by cells of *Lactobacillus plantarum*. I. General properties of the system, *J. Bacteriol.* **1965**, 90, 4, 843 – 852.
- [80] R. C. Wood, G. H. Hitchings, A study of the uptake and degradation of folic acid, citrovorum factor, aminopterin, and pyrimethamine by bacteria, *J. Biol. Chem.* **1959**, 234, 9, 2381 – 2385.
- [81] H. Y. Neujahr, Transport of B-vitamins in microorganisms. II. Factors affecting the uptake of labelled thiamine by non-proliferating cells of *Lactobacillus fermenti*, *Acta Chem. Scand.* **1966**, 20, 771 – 785.
- [82] T. W. Griffith, F. R. Leach, The effect of osmotic shock on vitamin transport in *Escherichia coli*, *Arch. Biochem. Biophys.* **1973**, 159, 2, 658 – 663.
- [83] H. P. Sarett, The effect of riboflavin analogues upon the utilization of riboflavin and flavin adenin dinucleotide by *Lactobacillus casei*, *J. Biol. Chem.* **1946**, 162, 87 – 97.

- [84] H. Y. Neujahr, Z. Varga, Transport of B-vitamins in microorganisms. VII. The uptake of ^{14}C -niacinamide by non-proliferating cells and by protoplasts of *Streptococcus faecalis*, *Acta Chem. Scand.* **1966**, 20, 1529 – 1534.
- [85] J. H. Mulligan E. E. Snell, Transport and metabolism of vitamin B6 in lactic acid bacteria, *J. Biol. Chem.* **1977**, 252, 3, 835 – 839.
- [86] Patent US4218481 A, *Yeast autolysis process*, veröffentlicht 19. Aug. 1980, Standard Oil Company Indiana, K. C. Chao, E. F. McCarthy, G. A. McConaghy.
- [87] R. Sommer, Yeast extracts: production, properties and components, *Food Aust.* **1998**, 50, 4, 181 – 183.
- [88] H. L. Berke, A. Rothstein, The metabolism of storage carbohydrates in yeast, studied with glucose-1- C^{14} and Dinitrophenol, *Arch. Biochem. Biophys.* **1957**, 72, 380 – 395.
- [89] L. B. Rothmann, E. Cabib, Regulation of glycogen synthesis in the intact yeast cell, *Biochemistry* **1969**, 8, 8, 3332 – 3341.
- [90] J. Zhang, J. Reddy, B. Buckland, R. Greasham, Toward consistent and productive complex media for industrial fermentations: Studies on yeast extract for a recombinant yeast fermentation process, *Biotechnol. Bioeng.* **2003**, 82, 6, 640 – 652.
- [91] H. Einarsson, B. G. Snygg, C. Eriksson, Inhibition of bacterial growth by Maillard reaction products, *J. Agric. Food Chem.* **1983**, 31, 1043 – 1047.
- [92] S. Tejayadi, M. Cheryan, Lactic acid from cheese whey permeate. Productivity and economics of a continuous membrane bioreactor, *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **1995**, 43, 2, 242 – 248.
- [93] T. Ghaffar, M. Irshad, Z. Anwar, T. Aqil, Z. Zulifqar, A. Tariq, M. Kamran, N. Ehsan, S. Mehmood, Recent trends in lactic acid biotechnology: A brief review on production to purification, *J. Radiat. Res. Appl. Sci.* **2014**, 7, 222 – 229.
- [94] K. Fukushima, K. Sogo, S. Miura, Y. Kimura, Production of D-lactic acid by bacterial fermentation of rice starch, *Macromol. Biosci.* **2004**, 4, 11, 1021 – 1027.
- [95] S. Nakano, C. U. Ugwu, Y. Tokiwa, Efficient production of D-(-)-lactic acid from broken rice by *Lactobacillus delbrueckii* using $\text{Ca}(\text{OH})_2$ as a neutralizing agent, *Bioresour. Technol.* **2012**, 104, 791 – 794.

- [96] C. M. Nguyen, J. S. Kim, J. K. Song, G. J. Choi, Y. H. Choi, K. S. Jang, J. C. Kim, D-Lactic acid production from dry biomass of *Hydrodictyon reticulatum* by simultaneous saccharification and co-fermentation using *Lactobacillus coryniformis* subsp. *torquens*, *Biotechnol. Lett.* **2012**, 34, 12, 2235 – 2240.
- [97] M. Singhvi, D. Joshi, M. Adsul, A. Varma, D. Gokhale, D-(-)-Lactic acid production from cellobiose and cellulose by *Lactobacillus lactis* mutant RM2-2†4, *Green Chem.* **2010**, 12, 1106 – 1109.
- [98] Z. Lu, M. Lu, F. He, L. Yu, An economical approach for D-lactic acid production utilizing unpolished rice from aging paddy as major nutrient source, *Bioresour. Technol.* **2009**, 100, 6, 2026 – 2031.
- [99] Y.-Y. Linko, P. Javanainen, Simultaneous liquefaction, saccharification, and lactic acid fermentation on barley starch, *Enzyme Microb. Technol.* **1996**, 19, 2, 118 – 123.
- [100] K. Hofvendahl, B. Hahn-Hägerdal, Factors affecting the fermentative lactic acid production from renewable resources, *Enzyme Microb. Technol.* **2000**, 26, 2-4, 87 – 107.
- [101] L. M. Wang, B. Zhao, F. S. Li, K. Xu, C. Q. Ma, F. Tao, Q. G. Li, P. Xu, Highly efficient production of D-lactate by *Sporolactobacillus* sp. CASD with simultaneous enzymatic hydrolysis of peanut meal, *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **2011**, 89, 4, 1009 – 1017.
- [102] S. R. Reddy Tadi, A. E. V. R., A. M. Limaye, S. Sivaprakasam, Enhanced production of optically pure D (–) lactic acid from nutritionally rich *Borassus flabellifer* sugar and whey protein hydrolysate based-fermentation medium, *Biotechnol. Appl. Biochem.* **2015**, *in press*.
- [103] T. Zhao, D. Liu, H. Ren, X. Shi, N. Zhao, Y. Chen, H. Ying, D-Lactic acid production by *Sporolactobacillus inulinus* Y2-8 immobilized in fibrous bed bioreactor using corn flour hydrolyzate, *J. Microbiol. Biotechnol.* **2014**, 24, 12, 1664 – 1672.
- [104] R. Yáñez, A. B. Moldes, J. L. Alonso, J. C. Parajó, Production of D(-)-lactic acid from cellulose by simultaneous saccharification and fermentation using *Lactobacillus coryniformis* subsp. *torquens*, *Biotechnol. Lett.* **2003**, 25, 14, 1161 – 1164.

- [105] B. P. Calabria, Y. Tokiwa, Production of D-Lactic acid from sugarcane molasses, sugarcane juice and sugar beet juice by *Lactobacillus delbrueckii*, *Biotechnol. Lett.* **2007**, 29, 9, 1329 – 1332.
- [106] L. F. Coelho, C. J. Bolner de Lima, M. P. Bernardo, J. Contiero, D(-)-Lactic acid production by *Leuconostoc mesenteroides* B512 using different carbon and nitrogen sources, *Appl. Biochem. Biotechnol.* **2011**, 164, 7, 1160 – 1171.
- [107] Y. Li, L. Wang, J. Ju, B. Yu, Y. Ma, Efficient production of polymer-grade D-lactate by *Sporolactobacillus laevolacticus* DSM442 with agricultural waste cottonseed as the sole nitrogen source, *Bioresour. Technol.* **2013**, 142, 186 – 191.
- [108] Mitteleuropäische Brautechnische Analysenkommission MEBAK e.V., *Würze, Bier, Biermischgetränke: Methodensammlung der Mitteleuropäischen Brautechnischen Analysenkommission*, MEBAK, Freising-Weihenstephan, **2012**.
- [109] G. L. Miller, Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar, *Anal. Chem.* **1959**, 31, 3, 426 – 428.
- [110] A. Sluiter, B. Hames, R. Ruiz, C. Scarlata, J. Sluiter, D. Templeton, D. Crocker, Determination of structural carbohydrates and lignin in biomass, Laboratory Analytical Procedure (LAP), Technical Report NREL, **2008**.
- [111] M. Fountoulakis, H.-W. Lahm, Hydrolysis and amino acid composition analysis of proteins, *J. Chrom. A* **1998**, 826, 109 – 134.
- [112] H. K. Reershemius **2008**, Production of L-methionine with *Corynebacterium glutamicum*, Dissertation, TU Braunschweig.
- [113] T. Lewis, P. D. Nichols, T. A. McMeekin, Evaluation of extraction methods for recovery of fatty acids from lipidproducing microheterotrophs, *J. Microbiol. Methods* **2000**, 43, 107 – 116.
- [114] V. L. Singleton, J. A. Rossi, Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents, *Am. J. Enol. Vitic.* **1965**, 16, 144 – 158.
- [115] R. Zironi, S. Buiatti, E. Zelotti, Evaluation of a new colourimetric method for the determination of catechins in musts and wines, *Vitic. Enol. Sci.* **1992**, 47, 1 – 7.

- [116] Thermo Fisher Scientific **2013**, *Carbohydrate analysis by HPAEC-PAD*, http://www.dionex.com/en-us/webdocs/114769-BR-HPAE-PAD-Carbohydrate-Analysis-BR700910_E.pdf, abgerufen am 28. Mai.2016.
- [117] Hierarchical Clustering, Erläuterungen zur R-Funktion hclust, <http://127.0.0.1:25018/library/stats/html/hclust.html>, abgerufen am 08. Sep. 2016.
- [118] W. Kessler, Multivariate Regressionsmethoden in *Multivariate Datenanalyse: für die Pharma-, Bio-, und Prozessanalytik*, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, **2007**, pp 89 – 152.
- [119] B.-H. Mevik, R. Wehrens, The pls package: Principal component and partial least squares regression in R, *J. Stat. Soft.* **2007**, 18, 2, 1 – 23.
- [120] A. A. Gowen, G. Downey, C. Esquerre, C. P. O'Donnell, Preventing over-fitting in PLS calibration models of near-infrared (NIR) spectroscopy data using regression coefficients, *J. Chemometr.* **2011**, 25, 7, 375 – 381.
- [121] P. Boyaval, Lactic acid bacteria and metal ions, *Lait* **1989**, 69, 2, 87 – 113.
- [122] R. Fujita, K. Mochida, Y. Kato, K. Goto, *Sporolactobacillus putidus* sp. nov., an endosporeforming lactic acid bacterium isolated from spoiled orange juice, *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* **2010**, 60, 1499 – 1503.
- [123] K. Kitahara, J. Suzuki, *Sporolactobacillus* nov. subgen., *J. Gen. Appl. Microbiol.* **1963**, 9, 1, 59 – 71.
- [124] F. Archibald, Manganese: its acquisition by and function in the lactic acid bacteria, *Crit. Rev. Microbiol.* **1986**, 13, 1, 63 – 109.
- [125] L. O. Krampitz, Catalytic functions of thiamin diphosphate, *Annu. Rev. Biochem.* **1969**, 38, 213 – 240.
- [126] P. C. Chan, H. J. Bielski, Enzyme-catalyzed free radical reactions with nicotinamide adenine nucleotides II. Lactate dehydrogenase-catalyzed oxidation of reduced nicotinamide adenine nucleotide by superoxide radicals generated by xanthine oxidase, *J. Biol. Chem.* **1974**, 249, 1317 – 1319.
- [127] F. Lipmann, N. O. Kaplan, Coenzyme for acetylation, a pantothenic acid derivative, *J. Biol. Chem.* **1947**, 167, 3, 869 – 870.

- [128] M. Kilstrup, K. Hammer, P. Ruhdal Jensen J. Martinussen, Nucleotide metabolism and its control in lactic acid bacteria, *FEMS Microbiol. Rev.* **2005**, 29, 555 – 590.
- [129] Proplanta, Hamburg: Großhandelspreise vom 06.09.2016 – Getreide, Mühlenprodukte, Futtermittel und Ölsaaten, http://www.proplanta.de/Markt-und-Preis/Hamburger-Getreideboerse/Hamburg-Grosshandelspreise-vom-06-09-2016-Getreide-Muehlenprodukte-Futtermittel-und-Oelsaaten_notierungen1473173429.html abgerufen am 09.09.2016.
- [130] DKL Engineering, Inc. **2010**, Sulphuric acid on the web™ - Market and cost information, www.sulphuric-acid.com/sulphuric-acid-on-the-web/Market-Info.htm, abgerufen am 08. Sep. 2016.
- [131] F. Schnippe, Löschkalk als preisgünstige Alternative, *top agrar* **6/2004**, 6 – 9.
- [132] Orffa **2016**, Übersicht Marktsituation Vitamine Juni 2016.
- [133] Chemie Wocklum Martin Gruschka **2008**, Schwefelsäure-Marktsituation 2008, <http://www.hanke-seidel.com/newsarchiv/SchwefelsaeureMarkt2008.pdf>, abgerufen am 08. Sep. 2016.
- [134] M.-H. Cheng, W. Zhang, K. A. Rosentrater, J. J. K. Sekhon, T. Wang **2016**, Techno-economic analysis of integrated enzyme assisted aqueous extraction of soybean oil, ASABE Annual International Meeting 2016, Paper No. 162459761.
- [135] M. Bippes **2007**, Verfahrensentwicklung zur mikrobiellen Herstellung von Erythrit, Dissertation, TU Braunschweig.
- [136] S. Tejayadi, M. Cheryan, Lactic acid from cheese whey permeate. Productivity and economics of a continuous membrane bioreactor, *Appl. Microbiol. Biotechnol.* **1995**, 43, 242 – 248.
- [137] Eco Sys GmbH **2011**, Die Wettbewerbsfähigkeit der Bundesrepublik Deutschland als Standort für die Fermentationsindustrie im internationalen Vergleich, http://www.iwbio.com/fileadmin/Publikationen/IWBio-Artikel/Ind_Biotech_22003310.pdf, abgerufen am 24.08.2016.
- [138] C. Åkerberg, G. Zacchi, An economic evaluation of the fermentative production of lactic acid from wheat flour, *Bioresour. Technol.* **2000**, 75, 119 – 126.

- [139] T. Benzing, T. Böhland, U. R. Fritsche, M. Fröhling, A. Gröngröft, A. Guenther, J. Günther, M. Hempel, A. Hiltermann, T. Hirth, N. Holst, B. Horbach, R. Jossek, B. Kamm, A. Koltermann, D. Maga, F. Müller-Langer, D. Peters, J. Puls, J. Rothermel, K. Sternberg, H. Stichnothe, R. Strauch, R. Ulber, A. Vetter, K. Vorlop, W. Wach, M. Wolperdinger, *Roadmap Bioraffinerien*, Die Bundesregierung, Berlin **2012**.
- [140] Proplanta, Bremen: Getreide- und Futtermittelpreise vom 08.09.2016, http://www.proplanta.de/Markt-und-Preis/Bremer-Getreide-und-Futtermittelboerse/Bremen-Getreide-und-Futtermittelpreise-vom-08-09-2016_notierungen1473350539.html, abgerufen am 26.09.2016.
- [141] E. Wilkens **2012**, Medienoptimierung zur Kostenreduktion der mikrobiellen Konversion von Glycerin zu 1,3-Propandiol, Dissertation, TU Braunschweig.
- [142] Proplanta, Wien: Großhandelspreise vom 26.06.2013 für landwirtschaftliche Produkte, http://www.proplanta.de/Markt-und-Preis/Boerse-Wien/Wien-Grosshandelspreise-26-06-2013_notierungen1372258508.html, abgerufen am 26.09.2016.
- [143] J. Wellmitz, M. Gluschke, Leitlinie zur Methodenvvalidierung, Umweltbundesamt, Berlin **2005**.

Anhang

A1.	Abkürzungs- und Symbolverzeichnis	135
A2.	Chemikalien	138
A3.	Geräte	142
A4.	Ergänzung zu Kap. 4.4 Durchführung der multivariaten statistischen Auswertung der Analysenergebnisse	143
A5.	Ergänzung zu Kap. 4.5.1.3 Glucosekonzentrationen im Fed-Batch-Ansatz mit Zugabe der metabolisierten Aminosäuren	153
A6.	Ergänzung zu Kap. 4.5.3.3 Anorganische Verunreinigungen des Calciumcarbonats	154
A7.	Ergänzung zu Kap. 4.6.2 Aminosäureprofil der enzymatisch hergestellten Rapsschrothydrolysate	155
A8.	Ergänzung zu Kap. 4.8 Abschätzung der Hydrolysekosten	156
A9.	Ergänzung zu Kap. 4.1 Kenngrößen der verwendeten Analysemethoden	158
A10.	Analysendatenblätter der Hefeextrakte	162
A11.	Analysendatenblätter der kommerziell erhältlichen Hefeextraktersatzstoffe	210
A12.	Analysendatenblätter der mild chemisch hergestellten Rohstoffhydrolysate	238

A1. Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Tabelle A1.1: Abkürzungen

Abkürzung	Bezeichnung
ADP	Adenosindiphosphat
AILEU	<i>allo</i> -Isoleucin
ALA	Alanin
AMP	Adenosinmonophosphat
AN	Aminostickstoffgehalt (engl.: amino nitrogen)
ASN	Asparagin
ASP	Asparaginsäure
AS	Aminosäuren
ATP	Adenosintriphosphat
BG	Bestimmungsgrenze
CMC	Carboxymethylcellulose
CME	Cellulosemischester
DSMZ	Deutsche Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen
EDTA	Ethylendiamintetraacetat
EMP-Weg	Embden-Meyerhof-Parnas-Weg
FAD	Flavin-Adenin-Dinukleotid
FAME	Fettsäuremethylester (engl.: fatty acid methyl ester)
FID	Flammenionisationsdetektor
FMN	Flavinmononukleotid
GAP	Glycerinaldehydphosphat
GC	Gaschromatographie
GLN	Glutamin
GLU	Glutaminsäure
GLY	Glycin
GMP	Guanosinmonophosphat
HE	Hefeextrakt
HIS	Histidin
HPAEC	Hochleistungsanionenaustauschchromatographie (engl.: high performance anion exchange chromatography)
HPLC	Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (engl.: high performance liquid chromatography)
IC	Ionenchromatographie
ICP	induktiv gekoppeltes Plasma (engl.: inductively coupled plasma)
ILE	Isoleucin
ktpa	Kilotonnen pro Jahr (engl.: kilotons per annum)
LEU	Leucin

Abkürzung	Bezeichnung
LYS	Lysin
MEBAK	Mitteuropäische Brautechnische Analysenkommission
MET	Methionin
MS	Massenspektrometrie
NADH	Nicotinamidadenindinukleotid
NaOAc	Natriumacetat
NG	Nachweisgrenze
NIST	National Institute of Standards and Technology
NREL	National Renewable Energy Laboratory
OD	optische Dichte
OES	optische Emmisionsspektroskopie
PAD	gepulste amperometrische Detektion (engl.: pulsed amperometric detection)
PDA	Photodiodenzeile (engl.: photo diode array)
PDLA	Poly-D-lactide (engl.: poly-D-lactic acid)
PDLLA	Poly-DL-lactide (engl.: poly-DL-lactic acid)
PHE	Phenylalanin
PLA	Polylactide (engl.: polylactic acid)
PLLA	Poly-L-lactide (engl.: poly-L-lactic acid)
PLS	Partial least squares-Regression
POT	Protonen-abhängigen Oligopeptidtransporter
PP	Polypropylen
PP-Weg	Pentosephosphat-Weg
PRO	Prolin
PTFE	Polytetrafluorethylen
RI	Brechungsindex (engl.: refractive index)
rpm	Umdrehungen pro Minute (engl.: revolutions per minute)
RS-VH	Rapsschrot-Vollhydrolysat
scPLA	Polylactid-Stereokomplex (engl.: stereocomplex PLA)
SER	Serin
SHF	separate Hydrolyse und Fermentation
SSF	simultane Verzuckerung und Fermentation (engl.: simultaneous saccharification and fermentation)
Std	Standard
THR	Threonin
TN	Gesamtstickstoffgehalt (engl.: total nitrogen)
TRP	Tryptophan
TYR	Tyrosin
UV/Vis	Ultraviolettstrahlung/sichtbares Licht (engl.: visible)
VAL	Valin

Tabelle A1.2: verwendete Formelzeichen

Formelzeichen	Einheit	Bedeutung
β	[g/L]	Massenkonzentration
β^{Lac}	[g/L]	Massenkonzentration an Lactat
β_0^{Glc}	[g/L]	Massenkonzentration an Glucose zu Beginn der Fermentation
β_0^{H1}	[g/L]	Massenkonzentration an Merck Fermtech® Hefeextrakt zu Beginn der Fermentation
c	[mol/L]	Konzentration
ee	[%ee]	Enantiomerenüberschuss (engl.: enantiomeric excess)
m	[g]	Masse
M	[g/mol]	Molmasse
M	[mol/L]	Molarität
%N	[%]	Gesamtstickstoffgehalt
N	[mol/L]	Äquivalentkonzentration, Normalität
ν		stöchiometrischer Koeffizient
P	[g/(L·h)]	Produktivität
S	[%]	Selektivität
S/N		Signal-Rausch-Verhältnis
t	[h]	Zeit
V	[μ L],[mL],[L]	Volumen
Y	[%]	Ausbeute
z		stöchiometrische Wertigkeit

A2. Chemikalien

Tabelle A2.1: Liste der in dieser Arbeit verwendeten Chemikalien

Chemikalie	Reinheit	Anwendung	Lieferant
Ammoniumeisen(III)citrat	16,5 – 18,5 % Eisen		Merck
Ammoniumhydroxid ≥ 25 %	in H ₂ O, TraceSELECT®		Sigma Aldrich
Anthranon	zur Analyse		Carl Roth
L-Arabinose	≥ 99 %, für die Biochemie	Standard	Carl Roth
Borsäure	99,8 %, zur Analyse	Kjeldahl	Carl Roth
Ca(OH) ₂	≥ 96 %, zur Analyse		Merck
Carboxymethylcellulose Natrium-Salz	low viscosity		Sigma Aldrich
Catechin	ROTICHRUM®	Standard	Carl Roth
Chloroform	$\geq 99,8$ %, CHROMASOLV®		Sigma Aldrich
4-(Dimethylamino)-zimtaldehyd	≥ 98 %		Fluka
3,5-Dinitrosalicylsäure	zur colorimetrischen Bestimmung reduzierender Zucker		Sigma Aldrich
EDTA-Dinatrium-Salz	≥ 99 %, zur Analyse		Carl Roth
Essigsäure 100 % wasserfrei	100 %, zur Analyse	Standard	Merck
Ethanol 96 %	96 %, reinst		Carl Roth
Folin-Ciocalteus-Phenolreagenz			Merck
D-Fructose	$\geq 99,0$ %, für biochemische Zwecke	Standard	Merck
Furfural	zur Analyse	Standard	Merck
D-Galactose	High purity grade	Standard	Amresco
Gallussäure wasserfrei	≥ 98 %, zur Analyse	Standard	Carl Roth
Glucose · H ₂ O	für die Mikrobiologie		Carl Roth
Glycerin wasserfrei	≥ 98 %	Standard	Carl Roth
Heneicosansäure	≥ 99 %, analytical standard	Standard	Sigma Aldrich
n-Hexan	reinst		Merck
5-Hydroxymethylfurfural	≥ 99 %	Standard	Sigma Aldrich
Kalium-Natriumtartrat · 4 H ₂ O	$\geq 99,0$ %, reinst		Merck
Kjeltab S		Kjeldahl	Gerhardt
Lävulinsäure	zur Synthese	Standard	Merck
D-Mannose	99%	Standard	Alfa Aesar
Methanol	ROTISOLV® HPLC Ultra Gradient Grade		Carl Roth
Methylsulfonsäure	$\geq 99,5$ %	IC	Sigma Aldrich
D-Milchsäure	≥ 93 %	Standard	Sigma Aldrich
Natriumacetat · 3 H ₂ O	$\geq 99,5$ %, zur Analyse		Carl Roth
Natriumacetat wasserfrei	electrochemical grade	HPAEC-PAD	Thermo Fisher
Natriumformiat	$\geq 99,0$ %, Ultra	Standard	Fluka

Chemikalie	Reinheit	Anwendung	Lieferant
Natrium-DL-Lactat	> 99,0 %, Reagent Plus®	Standard	Sigma Aldrich
Natrium-L-Lactat	> 99,0 %	Standard	Sigma Aldrich
NaOH	≥ 97%		Merck
NaOH 33%	technisch	Kjeldahl	CVH Chemie Vertrieb
NaOH 50-52%	in Wasser, Eluent für IC	HPAEC-PAD, IC	Fluka
Ninhydrin	99 %, zur Analyse		Carl Roth
Phenol	≥ 99,5 %, zur Analyse		Riedel-de Haën
Propionsäure	≥ 99,5 %	Standard	Sigma Aldrich
L-Rhamnose Monohydrat	99 %	Standard	Alfa Aesar
Saccharose	99 %	Standard	Fluka
Salpetersäure 69 %	ROTIPURAN® Supra	ICP-OES	Carl Roth
Salzsäure 37 %	37 %, rauchend		Merck
Schwefelsäure 0,5 mol	Fixanal Standard	HPLC, Kjeldahl	Fluka
Schwefelsäure 72 %	zur Analyse		AppliChem
Schwefelsäure 96 %	technisch	Kjeldahl	CVH Chemie Vertrieb
Schwefelsäure 98 %	98 %, ROTIPURAN®		Carl Roth
Silicon-Antischaum-Emulsion		Kjeldahl	Omnichem
Wasserstoffperoxid 30 %	Suprapur	ICP-OES	Merck
D-Xylose	≥ 99 %	Standard	Sigma Aldrich
Aminosäuren			
L-Alanin	für biochemische Zwecke		Merck
L-Asparagin-Monohydrat	EMPROVE® exp Ph. Eur.		Merck
L-Asparaginsäure	für biochemische Zwecke		Merck
L-Glutamin	≥ 99 %,CELLPURE®		Carl Roth
L-Glutaminsäure	≥ 99,0 %, für biochemische Zwecke		Merck
Glycin	≥ 99,7 %, zur Analyse		Merck
L-Histidin	für biochemische Zwecke		Merck
L-Isoleucin	für biochemische Zwecke		Merck
L-Leucin	für biochemische Zwecke		Merck
L-Lysin	≥ 98 %, rein, kristallisiert		Fluka
L-Methionin	für biochemische Zwecke		Merck
L-Phenylalanin	für biochemische Zwecke		Merck
L-Prolin	für biochemische Zwecke		Merck
L-Serin	für biochemische Zwecke		Merck
L-Threonin	≥ 99,0 %, für biochemische Zwecke		Merck
L-Tryptophan	≥ 99 %, CELLPURE®		Carl Roth
L-Tyrosin	für biochemische Zwecke		Merck

Chemikalie	Reinheit	Anwendung	Lieferant
L-Valin	≥ 99,0 %, für biochemische Zwecke		Merck
Salze			
CaCO ₃	~99 %, pulverisiert		Carl Roth
CuSO ₄	≥ 99 %	chirale HPLC	Sigma Aldrich
FeSO ₄ · 7 H ₂ O	≥ 99,5 %, zur Analyse		Merck
KCl	≥ 99,5 %, zur Analyse		Carl Roth
K ₂ HPO ₄	≥ 98,0 %		Merck
KH ₂ PO ₄	zur Analyse		Merck
KIO ₃	98 %, reagent grade		Sigma Aldrich
MgSO ₄ · 7 H ₂ O	100 %, zur Analyse		VWR
MnSO ₄ · H ₂ O	≥ 99 %		Carl Roth
NaCl	≥ 99,5 %, zur Analyse		Merck
Na ₂ CO ₃	zur Analyse		VWR
NaHCO ₃	zur Analyse		Riedel-de Haën
NaH ₂ PO ₄ · 2 H ₂ O	≥ 98 %		Carl Roth
Na ₂ SO ₄ wasserfrei	99 %, zur Analyse		Fluka
(NH ₄) ₂ SO ₄	≥ 99,5 %, zur Analyse		AppliChem
ZnSO ₄ · 7 H ₂ O	98 %, rein		Riedel-de Haën
Vitamine			
Thiamin·HCl	≥ 99,0 %		Fluka
Riboflavin	≥ 98 %		Fluka
Niacin (Nicotinsäure)	≥ 99,5 %		Fluka
D-Pantothensäure Ca-Salz	≥ 99,0 %		Fluka
Pyridoxin·HCl	≥ 99,0 %		Fluka
Biotin	≥ 99,0 %		Fluka
Folsäure	≥ 97 %		Fluka
Cyanocobalamin	99 %		Sigma Aldrich
Myo-Inositol	≥ 99,0 %, für biochemische Zwecke		Merck
Nukleobasen, Nukleoside und Nukleotide			
Adenin	≥ 98 %, für die Biochemie		Carl Roth
Adenosin	≥ 99 %, zur Analyse		Carl Roth
Adenosin-5'-monophosphat Natrium-Salz	≥ 99 %		Sigma Aldrich
Adenosin-5'-diphosphat Natrium-Salz	≥ 95 %		Sigma Aldrich
Adenosin-5'-triphosphat	> 98 %, lyophilisiert		Carl Roth
Cytidin	≥ 99 %, für die Biochemie		Carl Roth
Cytosin	≥ 99 %, für die Biochemie		Carl Roth
Guanosin	≥ 98 %, für die Biochemie		Carl Roth

Chemikalie	Reinheit	Anwendung	Lieferant
Guanosin-5'-monophosphat Dinatrium-Salz · H ₂ O	≥ 99 %		Sigma Aldrich
Thymidin	≥ 99 %, zur Analyse		Carl Roth
Uridin	≥ 99 %, für die Biochemie		Carl Roth

Tabelle A2.2: Liste der verwendeten kommerziell erhältlichen Multi-Standards

verwendete Multi-Standards		Lieferant
Anionen-Mehrelementstandard (IC) 7 Anionen	in H ₂ O	Carl Roth
Kationen-Mehrelementstandard (IC) 6 Kationen	in 0,1 %iger HNO ₃	Carl Roth
Multi-Element ICP-Standard-Lösung 28 Elemente	ROTI®STAR 100 mg/L in 5% HNO ₃	Carl Roth
Single-Element ICP-Standard-Lösung Schwefel	ROTI®STAR 1000 mg/L in H ₂ O	Carl Roth
Single-Element ICP-Standard-Lösung Phosphor	ROTI®STAR 1000 mg/L in H ₂ O	Carl Roth
Single-Element ICP-Standard-Lösung Wolfram	ROTI®STAR 1000 mg/L 4 % NH ₃	Carl Roth
Supelco® 37 Compound FAME Mix	in Dichlormethan	Sigma Aldrich

A3. Geräte

Tabelle A3.1: Liste der in dieser Arbeit verwendeten Geräte

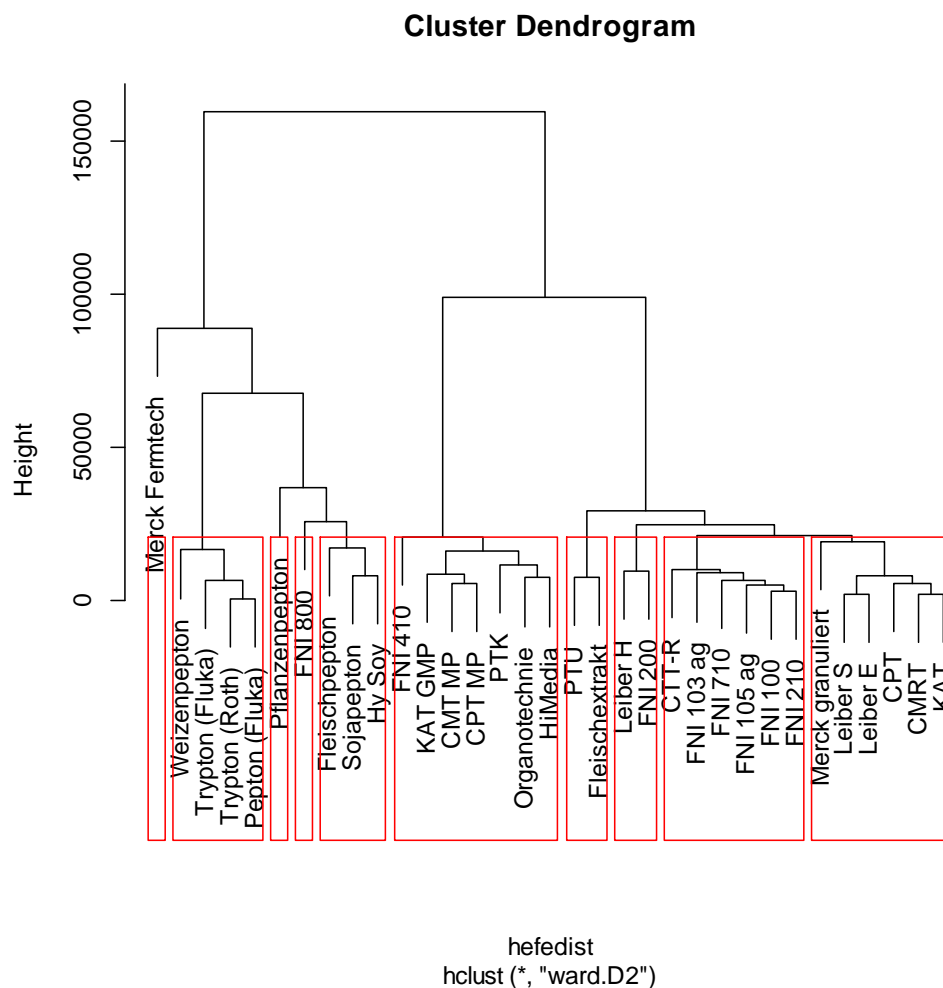
Gerät	Typ	Hersteller
Analysenwaage	Analytic A 200 S	Sartorius, Göttingen, Deutschland
Autoklaven	DX-23	Systec GmbH, Linden, Deutschland
	VX-40	Systec GmbH, Linden, Deutschland
Gefriertrocknung	Alpha 1-2 LD	Martin Christ Gefriertrocknungsanlagen GmbH, Osterode am Harz, Deutschland
Inkubator	Multitron AJ 117	Infors AG, Bottmingen, Schweiz
Magnetrührer	IKAMAG® REO	IKA-Werke, Staufen im Breisgau, Deutschland
Messermühle	Grindomix GM 200	Retsch, Haan, Deutschland
pH-Elektrode	InLab Micro	Mettler Toledo Inc., Columbus, USA
Pipetten	Finnpipetten 1 – 10 µL, 10 – 100µL und 100 – 1000µL	Thermo Fisher Scientific Inc., Sunnyvale, USA
Reinstwasser	Milli Qplus 185	Merck KGaA, Darmstadt, Deutschland
Siebturm	AS 200 control	Retsch, Haan, Deutschland
Sterilwerkbank	HeraSafe	Heraeus Instruments GmbH, Hanau, Deutschland
Trockenschrank	UE 400, 230 V	Memmert GmbH + Co.KG, Schwabach, Deutschland
Vortexmischer	Agitateur Top-Mix 11118	Bioblock Scientific, Illkirch Cedex, Frankreich
Waage	EW 6200-2NM	Kern & Sohn GmbH, Balingen, Deutschland
Wasserbad	1002	Gesellschaft für Labortechnik GmbH, Burgwedel, Deutschland
Zentrifugen	Centrifuge 5417 R	Eppendorf, Hamburg, Deutschland
	Biofuge stratos	Heraeus Instruments GmbH, Hanau, Deutschland

A4. Ergänzung zu Kap. 4.4 Durchführung der multivariaten statistischen Auswertung der Analyseergebnisse

A4.1 Clusteranalyse

```
> setwd("C:/Users/klotz/Desktop/Daten Hefeextrakte")
> hefe<-read.table("daten2.2.csv", sep = ";", dec = ",", header = TRUE)
> attach(hefe)

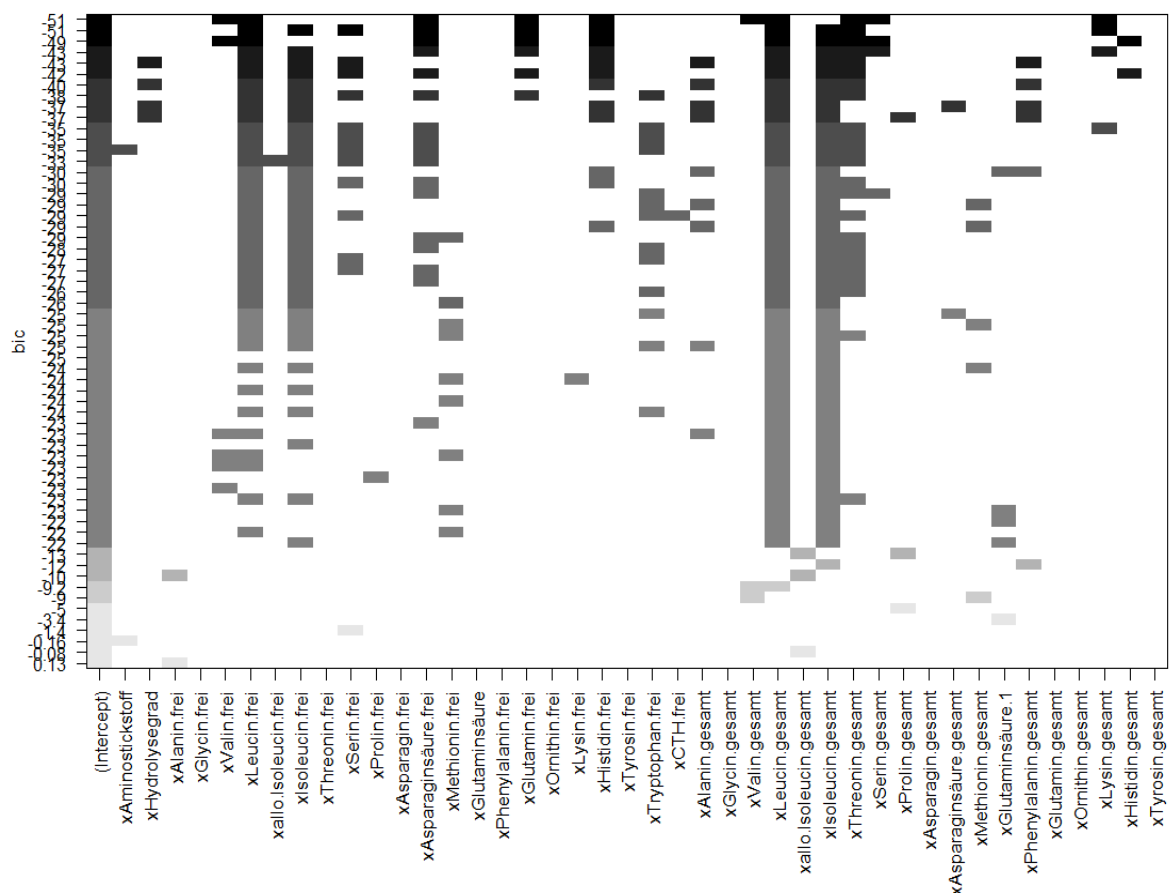
> hefedist<-dist(hefe)      ### Berechnet die Distanzmatrix
> hefeclust<-hclust(hefedist, method="ward.D2")
> plot(hefeclust, labels=hefe$Name)
> rect.hclust(hefeclust, 10)  ### 10 ist die Nummer der Cluster
                             ### die identifiziert werden sollen
```



A4.2 Partial least squares-Analyse (PLS-Analyse)

```
> library(pls)
> library(lattice)
> library(DAAG)
> library(leaps)
> setwd("C:/Users/klotz/Desktop/Daten Hefeextrakte/PLS/Auswertung")

#### Variablenselektion Aminosäuren
> AS<-read.table("daten2_vit_sel_AS_pls.csv", sep = ";", dec = ",", header = TRUE)
> xAS<-as.matrix(AS)
> vitpls<-read.table("daten_vit_plsy.csv", sep = ";", dec = ",", header = TRUE)
> vity<-as.numeric(unlist(vitpls))
> vit<-data.frame(vity, I (as.matrix (xAS)))
> colnames (vit) [1] <- "y"
> colnames (vit) [2] <- "x"
> a = regsubsets(y ~ .,nbest=6,nvmax=10,data=vit)
> plot(a)
```

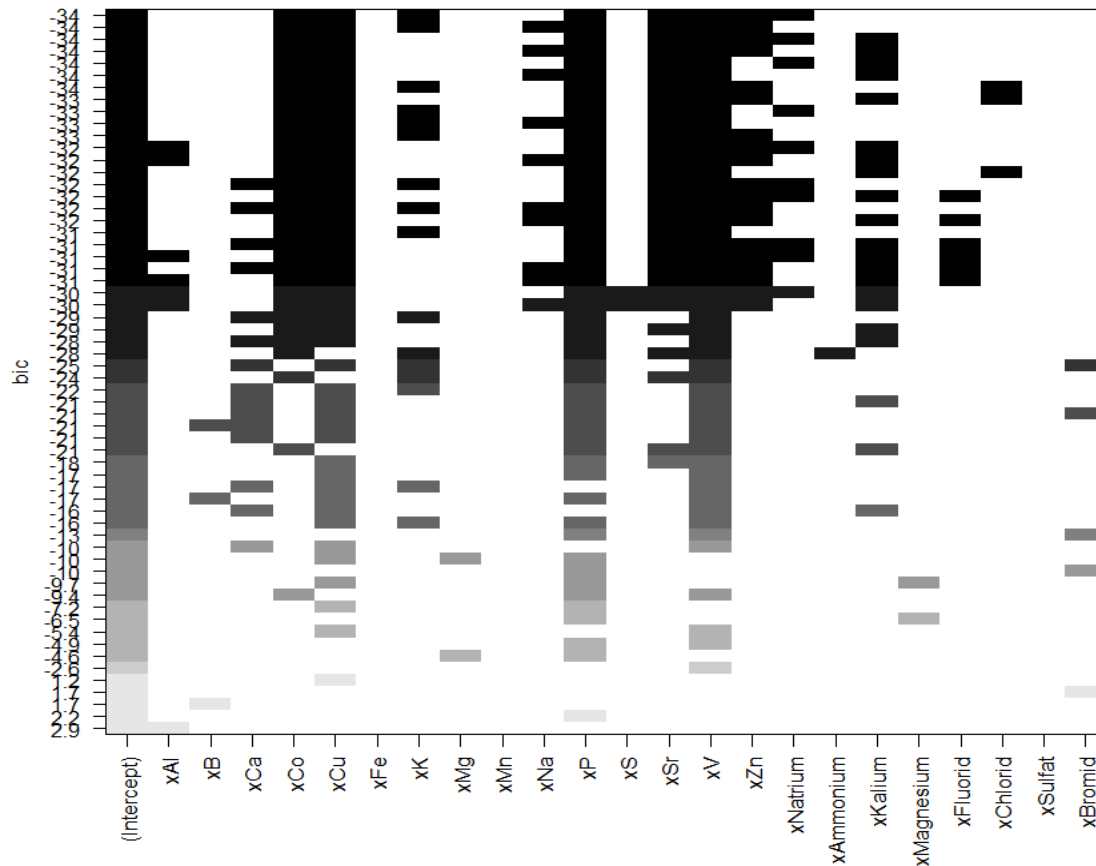


Selektion der Variablen:

Leucin frei, Isoleucin frei, Serin frei, Asparaginsäure frei, Histidin frei, Tryptophan frei,
Leucin gesamt, Isoleucin gesamt, Threonin gesamt

Variablenselektion Salze und Spurenelemente

```
> Spe<-read.table("daten2_vit_sel_spe_pls.csv", sep = ";", dec = ",", header = TRUE)
> xSpe<-as.matrix(Spe)
> vit2<-data.frame(vity, I (as.matrix (xSpe)))
> colnames (vit2) [1] <- "y"
> colnames (vit2) [2] <- "x"
> a = regsubsets(y ~ .,nbest=6,nvmax=10,data=vit2)
> plot(a)
```

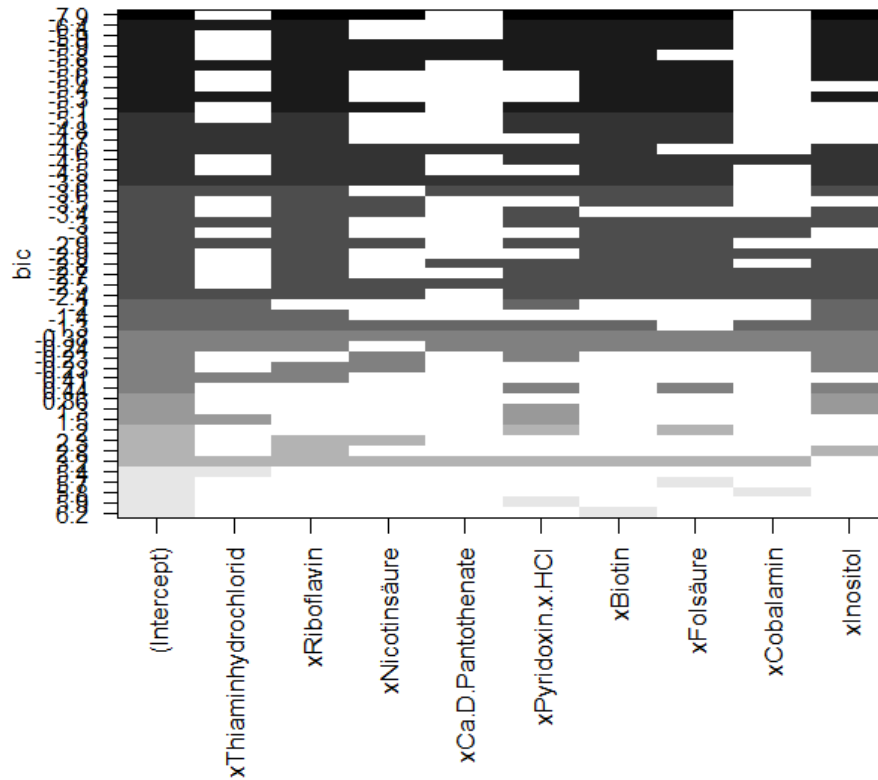


Selektion der Variablen:

Co, Cu, K, Na, P, Sr, V, Zn, Natrium, Kalium

Variablenselektion Vitamine

```
> vita<-read.table("daten2_vit_sel_vit_pls.csv", sep = ";", dec = ",", header = TRUE)
> xvita<-as.matrix(vita)
> vit3<-data.frame(vity, I (as.matrix (xvita)))
> colnames (vit3) [1] <- "y"
> colnames (vit3) [2] <- "x"
> a = regsubsets(y ~ .,nbest=6,nvmax=10,data=vit3)
> plot(a)
```

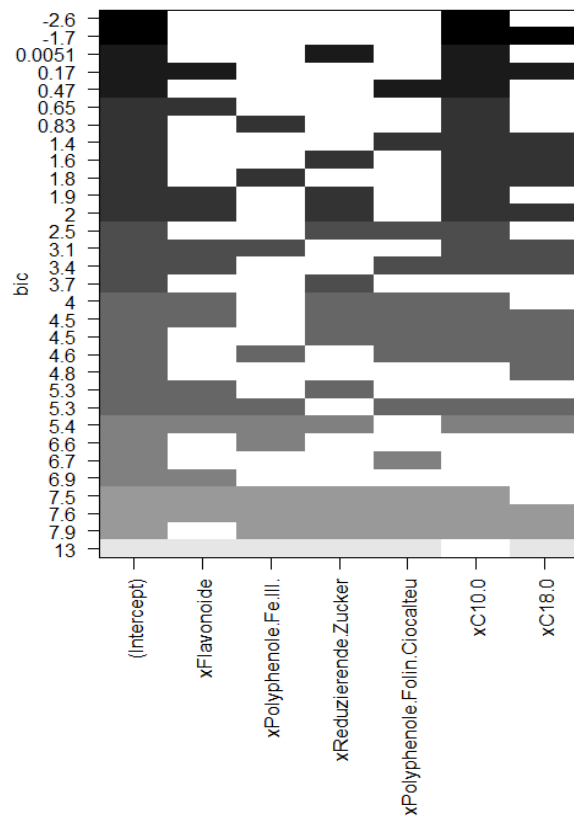


###Selektion der Variablen:

###Thiaminhydrochlorid, Riboflavin, Nicotinsäure, Pyridoxin x HCl, Biotin, Folsäure, Inositol

###Variablenselektion weitere Bestandteile

```
> son<-read.table("daten2_vit_sel_son_pls.csv", sep = ";", dec = ",", header = TRUE)
> xson<-as.matrix(son)
> vit4<-data.frame(vity, I (as.matrix (xson)))
> colnames (vit4) [1] <- "y"
> colnames (vit4) [2] <- "x"
> a = regsubsets(y ~ .,nbest=6,nvmax=10,data=vit4)
> plot(a)
```

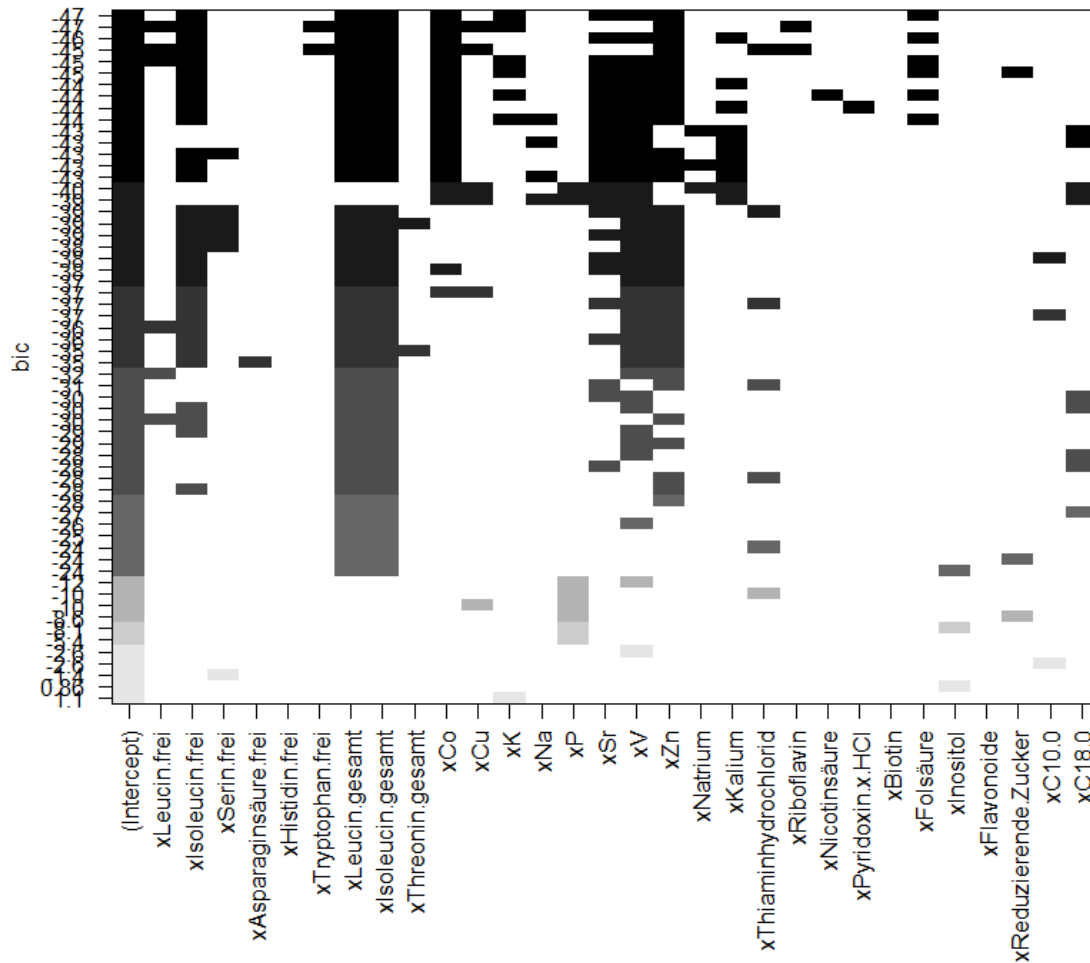


Selektion der Variablen:

###Flavonoide, Reduzierende Zucker, C10:0, C18:0

2. Variablenreduktion aus den zuvor selektierten Variablen

```
sel1<-read.table("daten2_sel.csv", sep = ";", dec = ",", header = TRUE)
xsel1<-as.matrix(sel1)
sel<-data.frame(vity, I (as.matrix (xsel1)))
colnames (sel) [1] <- "y"
colnames (sel) [2] <- "x"
a = regsubsets(y ~ .,nbest=6,nvmax=10,data=sel)
plot(a)
```



Selektion der Variablen:

Leucin frei, Isoleucin frei, Serin frei, Leucin gesamt, Isoleucin gesamt, Co, Cu, K, P, Sr, V, Zn, Kalium, Thiaminhydrochlorid, Folsäure, C18:0

Durchführung der PLS-Analyse:

```
> vitpls<-read.table("daten3_sel.csv", sep = ";", dec = ",", header = TRUE)
> vitx<-as.matrix(vitpls)
> vitplsy<-read.table("daten_vit_plsy.csv", sep = ";", dec = ",", header = TRUE)
> vity<-as.numeric(unlist(vitplsy))
> vit<-data.frame(vity, I(as.matrix(vitx)))
> vitpls<- plsr(vity ~ vitx, ncomp = 15, data = vit, scale = TRUE, validation="LOO")
> summary(vitpls)
```

Data: X dimension: 31 16

Y dimension: 31 1

Fit method: kernelppls

Number of components considered: 15

VALIDATION: RMSEP

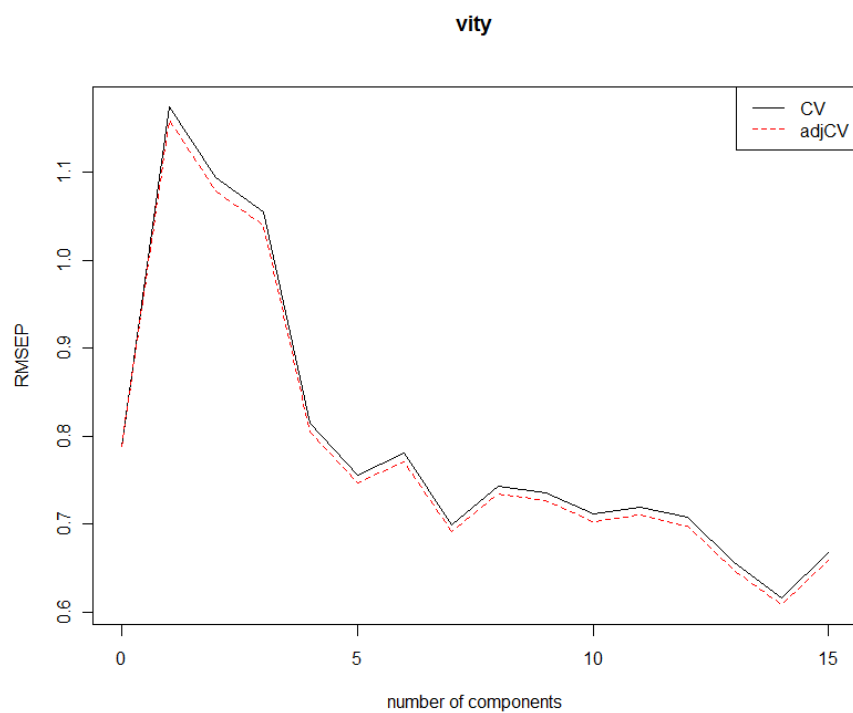
Cross-validated using 31 leave-one-out segments.

	(Intercept)	1 comps	2 comps	3 comps	4 comps	5 comps	6 comps
CV	0,7887	1,175	1,094	1,055	0,8151	0,7558	0,7813
adjCV	0,7887	1,160	1,079	1,040	0,8045	0,7464	0,7713
	7 comps	8 comps	9 comps	10 comps	11 comps	12 comps	13 comps
CV	0,6992	0,7432	0,7358	0,7121	0,7195	0,7078	0,6560
adjCV	0,6909	0,7338	0,7267	0,7031	0,7103	0,6983	0,6478
	14 comps	15 comps					
CV	0,6157	0,6672					
adjCV	0,6084	0,6587					

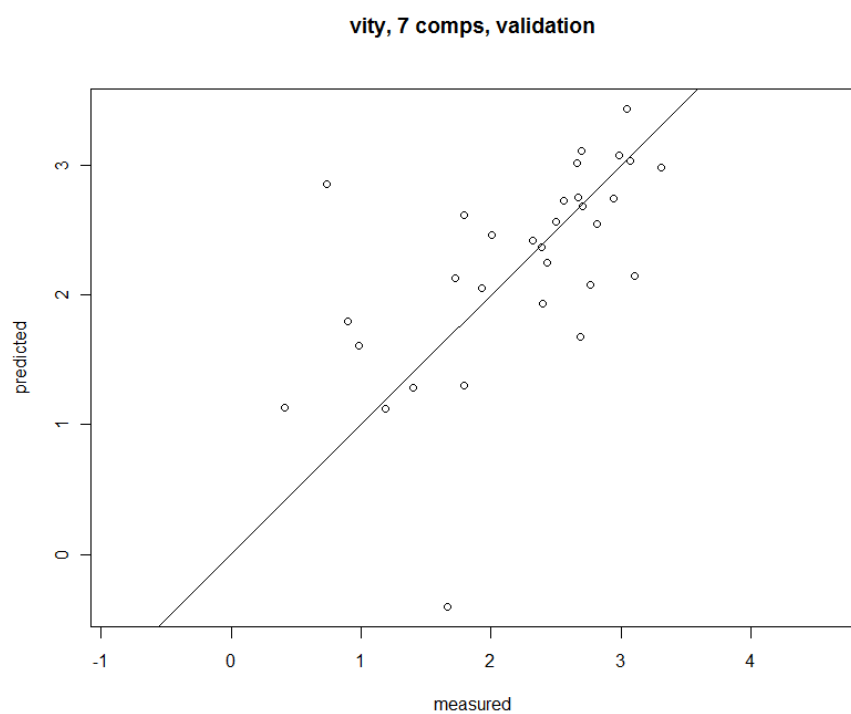
TRAINING: % variance explained

	1 comps	2 comps	3 comps	4 comps	5 comps	6 comps	7 comps	8 comps
X	21,96	50,15	64,06	74,19	80,00	84,54	89,59	91,50
vity	57,27	69,28	79,99	85,83	87,15	88,34	89,07	89,83
	9 comps	10 comps	11 comps	12 comps	13 comps	14 comps	15 comps	
X	95,68	97,26	98,10	98,42	99,54	99,90	99,96	
vity	90,24	91,20	91,72	92,74	92,86	92,97	93,17	

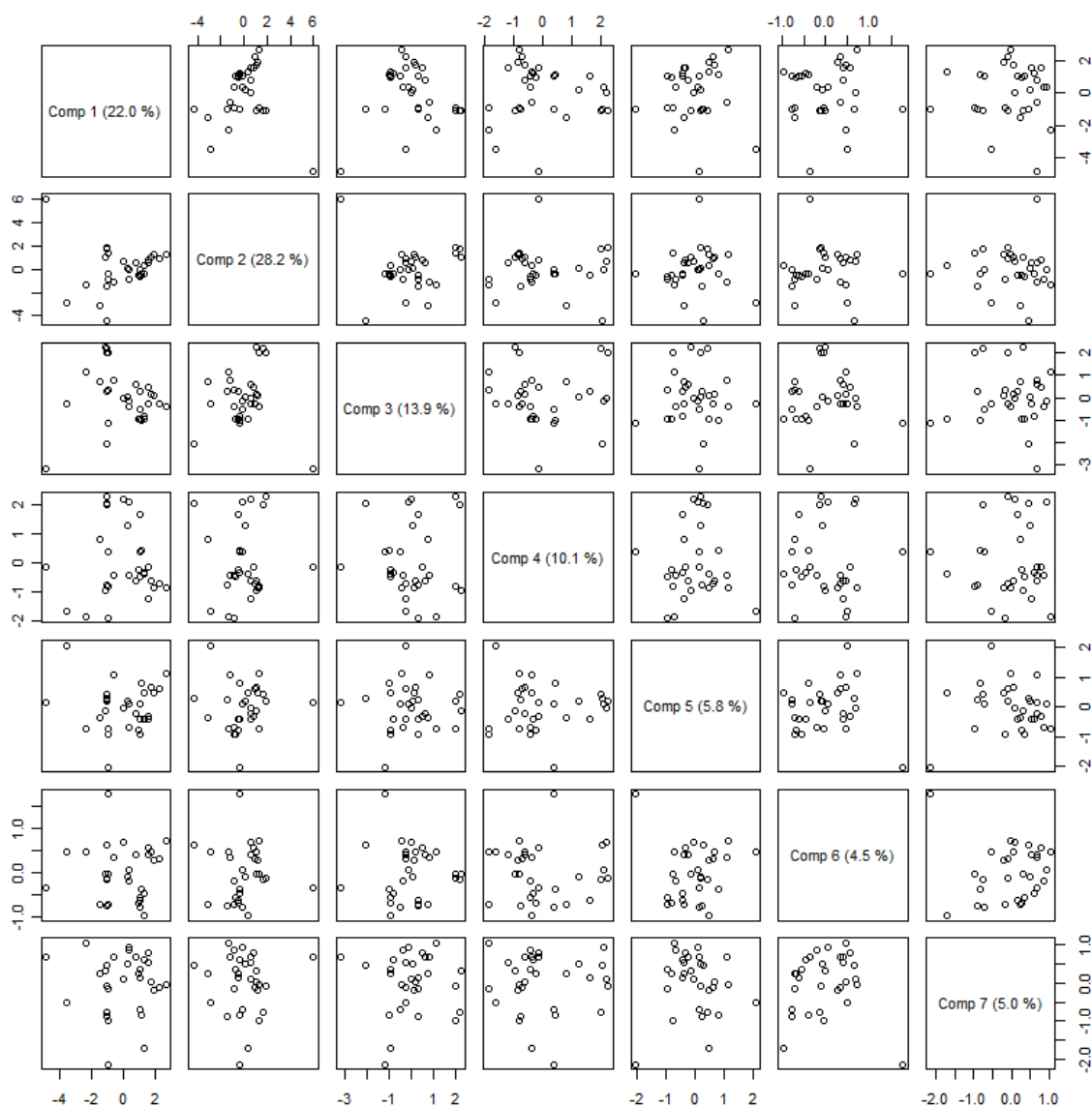
```
> plot(RMSEP(vitpls),legendpos="topright")
```



```
> plot(vitpls, ncomp=7, asp=1, line=TRUE)
```



```
> plot(vitpls, plotype="scores", comps=1:7)
```



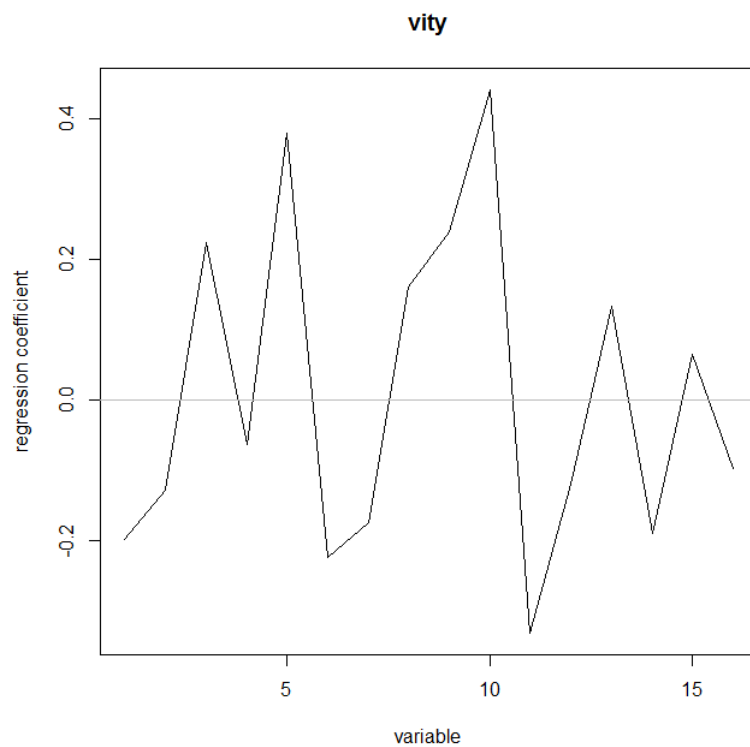
Die Koeffizienten stellen dar, in welchem Maß die Variablen die Vorhersage von y beeinflussen, hier also der Einfluss auf die Produktivität von *S. inulinus*

```
> coef(vitpls, ncomp = 7, intercept = FALSE)
```

```
, , 7 comps
```

		vit y
Leucin frei	X 1	-0,19820964
Isoleucin frei	X 2	-0,12900621
Serin frei	X 3	0,22315180
Leucin gesamt	X 4	-0,06307017
Isoleucin gesamt	X 5	0,37901702
Co	X 6	-0,22391520
Cu	X 7	-0,17459777
K	X 8	0,16103296
P	X 9	0,23952155
Sr	X 10	0,43981500
V	X 11	-0,33074490
Zn	X 12	-0,11993577
Kalium	X 13	0,13223256
Thiaminhydrochlorid	X 14	-0,19048443
Folsäure	X 15	0,06542576
C18:0	X 16	-0,09805386

```
> coefplot(vitpls, ncomp = 7, intercept = FALSE, separate = FALSE, se.whiskers = FALSE, xlab = "variable", ylab = "regression coefficient")
```



A5. Ergänzung zu Kap. 4.5.1.3 Glucosekonzentrationen im Fed-Batch-Ansatz mit Zugabe der metabolisierten Aminosäuren

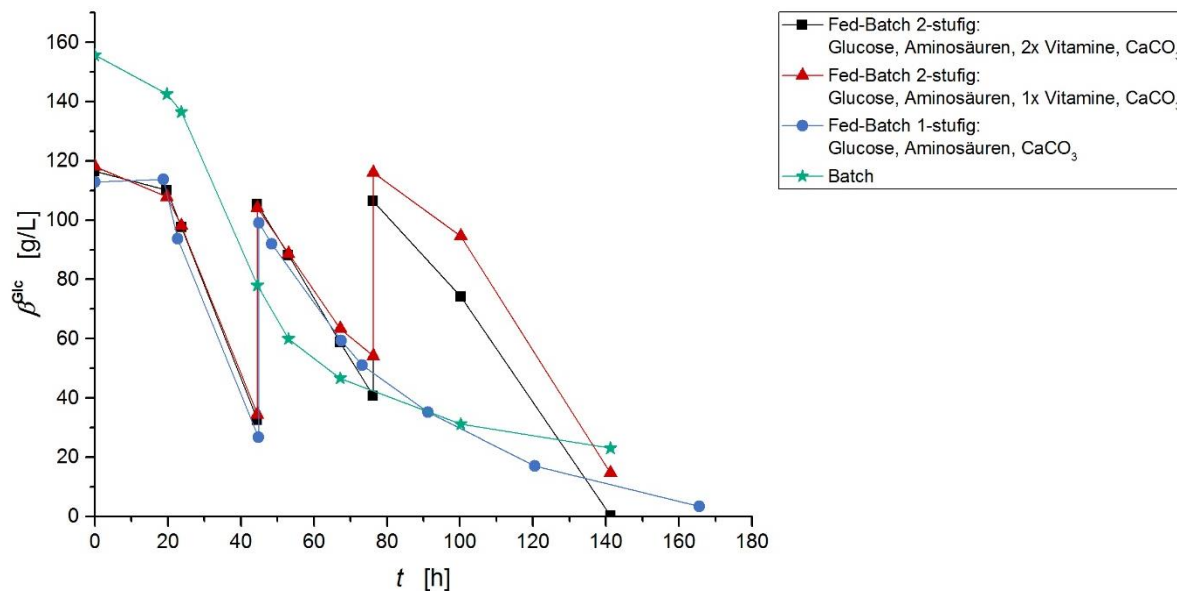


Abb. A5.1: Glucosekonzentrationen in den zweistufigen Fed-Batch-Kultivierungen von *S. inulinus* in 300 mL Kulturkolben unter Zugabe von jeweils 80 g/L Glucose, 60 g/L CaCO₃ sowie den metabolisierten Aminosäuren und Vitaminen nach 44,5 h und 76 h im Vergleich zur einstufigen Fed-Batch-Kultivierung ohne Zugabe von Vitaminen und zur Batch-Kultivierung mit Standardproduktionsmedium, 38 °C, 0 rpm (siehe Kap. 3.3.5 und Kap. 3.3.9)

A6. Ergänzung zu Kap. 4.5.3.3 Anorganische Verunreinigungen des Calciumcarbonats

Tabelle A6.1: anorganische Verunreinigungen des Calciumcarbonats gemessen mit ICP-OES

Verunreinigung	Gehalt [mg/kg]
Al	$123,8 \pm 1,64$
Ba	$3,99 \pm 0,01$
Fe	$114,8 \pm 0,15$
Li	$8,98 \pm 0,01$
Mg	$1800,0 \pm 10,4$
Mn	$67,9 \pm 0,09$
Na	$146,4 \pm 7,43$
P	$75,5 \pm 3,06$
Pb	$1,00 \pm 0,00$
S	$123,4 \pm 1,40$
Se	$4,99 \pm 1,00$
Sr	$166,7 \pm 1,62$
Ti	$5,66 \pm 0,57$
V	$2,00 \pm 0,00$
Zn	$1,00 \pm 0,00$

A7. Ergänzung zu Kap. 4.6.2 Aminosäureprofil der enzymatisch hergestellten Rapsschrothydrolysate

Tabelle A7.1: Aminosäureprofil im Medium mit enzymatisch hydrolysiertem Rapsschrot als Nährstoffquelle bei Einsatz verschiedener Proteasen; n.n. = nicht nachweisbar

	Alcalase	Protamex	Protex	Neutrase	Flavourzyme	Fermgen
	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]
Alanin	31,24	11,35	26,35	9,49	21,11	11,39
Glycin	20,32	8,70	10,02	1,78	9,99	0,64
Valin	27,24	10,73	21,64	15,48	16,35	12,45
Leucin	51,89	23,40	42,62	23,61	31,48	16,68
allo-Isoleucin	0,861	0,910	0,910	1,78	1,01	1,73
Isoleucin	8,84	0,934	5,33	1,37	4,24	0,959
Threonin	n.n.	n.n.	1,48	n.n.	9,10	n.n.
Serin	10,13	7,12	9,09	7,20	13,85	7,41
Prolin	4,93	7,37	4,50	9,42	22,34	6,47
Asparagin	7,39	n.n.	4,00	0,246	3,50	n.n.
Asparaginsäure	1,14	n.n.	n.n.	n.n.	6,62	n.n.
Methionin	17,70	7,89	15,34	8,74	12,31	7,10
Glutaminsäure	7,63	n.n.	5,62	5,58	37,13	13,55
Phenylalanin	31,98	8,48	23,82	16,18	14,31	12,61
Glutamin	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	6,98
Lysin	n.n.	n.n.	n.n.	8,67	12,14	12,11
Histidin	11,57	10,39	10,49	15,24	25,70	13,11
Tyrosin	15,71	15,26	15,58	18,06	21,39	16,29
Tryptophan	20,77	10,91	20,62	13,43	15,01	11,78

A8. Ergänzung zu Kap. 4.8 Abschätzung der Hydrolysekosten

Arbeitsvolumen im Reaktor:	57.600 L (entspricht 80 % des Reaktorvolumens)
Betriebsstunden:	8.300 h
Hydrolysebedingungen:	3M H ₂ SO ₄ , 110 °C, 24 h
Kapazität:	4.402 t/a Rapsschrot (ergibt 248.718.644 L Fermentationsmedium bei Einsatz entsprechend 10 g/L Hefeextrakt)

Referenz:	Preis [€/t]	Eingesetzte Konzentration	Kosten pro Jahr [€]	Literatur
Hefeextrakt als Nährstoffquelle	6.000 – 10.000	10 g/L	14.923.119 – 24.871.864	[13]

Investitionskosten	Spezifikation	Kosten [€]	Kosten pro Jahr [€]	Literatur
Tank Ca(OH) ₂	100.000 L	134.400		[136]
Tank Rapsschrot	100.000 L	134.400		[136]
Mühle		44.500		[138]
Reaktor	72.000 L	89.600		[136]
Mixtank Neutralisation	100.000 L	134.400		[136]
Zentrifuge		111.100		[138]
Ausstattung, Leitungen (30 %)		194.520		[136]
Gebäudebau (10 %)		64.840		[136]
Baulanderschließung(5 %)		32.420		[136]
Investitionssumme		940.180		
Abschreibung (20 Jahre)			47.009	[139]
kalkulatorische Zinsen (8 %)			75.214	[139]
Summe kapitalabhängige Kosten			122.223	

Stoffkosten		Preis [€/t]	Eingesetzte Konzentration	Kosten pro Jahr [€]	Literatur
Rohstoffkosten	Rapsschrot	202	17,7 g/L	889.269	[129]
Hilfs- und Betriebsmittel	Schwefelsäure	128	11,8 g/L	374.710	[130]
	Calciumhydroxid	100	8,85 g/L	220.116	[131]
Supplementierung	KH ₂ PO ₄ /K ₂ HPO ₄ *	1.100	884 mg/L	241.854	
	Thiamin · HCl	45.000	1,07 mg/L	11.976	[132]
	Riboflavin (80 %)	31.000	495 µg/L	4.771	[132]
	Niacin	5.000	9,84 mg/L	12.237	[132]
	Ca-Pantothenat	39.000	2,37 mg/L	22.989	[132]
Summe				1.777.921	

*grobe Abschätzung anhand des Katalogpreises großer Handelsplattformen (Stand: September 2016)

Sonstige Ausgaben		Kosten pro Jahr [€]	Literatur
Personal (4 Personen à 4 Schichten)	50.000 €/a pro Person	200.000	[139]
Wartung und Reinigung	2 % der Investitionssumme	18.804	[139]
Verwaltung	0,5 % der Investitionssumme	4.701	[139]
Versicherung	1 % der Investitionssumme	9.402	[139]
Unvorhergesehenes	0,75 % der Investitionssumme	7.051	[139]
Summe		239.958	

Tabelle A8.1: Marktpreise und Gesamtstickstoffgehalt (nach Kjeldahl) von agrarischen Rohstoffen und Futtermitteln; n.b. = nicht bekannt

Rohstoff/Futtermittel	Gesamtstickstoffgehalt [%]	Preis [€/t]	Literatur
Fischmehl	10,3	1.350	[140]
Fleischknochenmehl	7,3	120 – 150	[141]
Glutamin 68,9 % Protein	10,8	500	[141]
Griebenmehl	13,9	615	[141]
ProtiGrain	4,88	130	[141]
Maiskleber	10,4	750	[142]
Rapspresskuchen	5,54	n.b.	
Rapsschrot	5,39	202	[129]
Sojaproteinkonzentrat	8,9	800 – 900	[141]
Sonnenblumenschrot	6,00	232,50	[140]
Weizenkleber	13,0	n.b.	

A9. Ergänzung zu Kap. 4.1 Kenngrößen der verwendeten Analysemethoden

Die Nachweisgrenzen und Bestimmungsgrenzen der Analyten wurden nach folgenden Gleichungen ermittelt^[143]:

Nachweisgrenze:

$$\beta_{\text{NG}} = \left(\frac{\beta_{\text{Std}}}{S/N} \right) \cdot 3 \quad (7)$$

Bestimmungsgrenze:

$$\beta_{\text{BG}} = \left(\frac{\beta_{\text{Std}}}{S/N} \right) \cdot 10 \quad (8)$$

β_{NG} = Nachweisgrenze der Massenkonzentration

β_{BG} = Bestimmungsgrenze der Massenkonzentration

β_{Std} = Massenkonzentration des Standards

S/N = Signal-Rausch-Verhältnis des Standards

Die Nachweisgrenzen und Bestimmungsgrenzen der mit UV/Vis-Spektroskopie bestimmten Analyten wurden aus der Kalibriergeraden nach DIN 32645 ermittelt.

Tabelle A9.1: Analytische Kenngrößen der verwendeten Messmethoden; NG = Nachweisgrenze; BG = Bestimmungsgrenze; *laut Herstellerangabe

Analyt	NG	BG	Korrelations- koeffizient R^2	Kalibrations- bereich
Aminosäuren (GC-FID)	$\mu\text{mol/L}$	$\mu\text{mol/L}$		
Alanin	2,58	8,61	0,99891	50 – 200 $\mu\text{mol/L}$
Asparagin	2,34	7,79	0,99932	50 – 200 $\mu\text{mol/L}$
Asparaginsäure	1,83	6,11	0,99699	50 – 200 $\mu\text{mol/L}$
Cystathionin	2,67	8,91	0,99544	50 – 200 $\mu\text{mol/L}$
Glutaminsäure	4,20	14,0	0,99578	50 – 200 $\mu\text{mol/L}$
Glycin	2,59	8,62	0,99955	50 – 200 $\mu\text{mol/L}$
Histidin	1,74	5,80	0,99700	50 – 200 $\mu\text{mol/L}$
Isoleucin	1,99	6,63	0,99984	50 – 200 $\mu\text{mol/L}$
Leucin	1,70	5,65	0,99984	50 – 200 $\mu\text{mol/L}$
Lysin	1,37	4,55	0,99989	50 – 200 $\mu\text{mol/L}$

Analyt	NG	BG	Korrelations- koeffizient R²	Kalibrations- bereich
Methionin	1,70	5,68	0,99991	50 – 200 µmol/L
Phenylalanin	1,07	3,58	0,99965	50 – 200 µmol/L
Prolin	2,22	7,41	0,99998	50 – 200 µmol/L
Serin	3,19	10,6	0,99807	50 – 200 µmol/L
Threonin	2,44	8,13	0,99818	50 – 200 µmol/L
Tryptophan	1,35	4,49	0,99842	50 – 200 µmol/L
Tyrosin	1,26	4,21	0,99989	50 – 200 µmol/L
Valin	2,16	7,21	0,99984	50 – 200 µmol/L
Kohlenhydrate (HPAEC-PAD)	µg/L	µg/L		
Rhamnose	17,5	58,3	0,95844	5 – 50 mg/L
Arabinose	17,1	57,0	0,99945	5 – 50 mg/L
Galactose	12,6	41,9	0,99974	5 – 50 mg/L
Glucose	12,3	41,1	0,99972	5 – 50 mg/L
Saccharose	37,1	123,7	0,97541	5 – 50 mg/L
Xylose	13,4	44,5	0,95925	5 – 50 mg/L
Mannose	17,6	58,8	0,99928	5 – 50 mg/L
Fructose	57,8	192,8	0,99445	5 – 50 mg/L
Hemmstoffe (HPLC-RI-UV/Vis)	mg/L	mg/L		
Formiat	3,98	13,3		10 – 50 mg/L
Acetat	3,61	12,0		10 – 50 mg/L
Lävulinsäure	1,29	4,29	0,99538	10 – 50 mg/L
HMF	1,73	5,78	0,99984	10 – 50 mg/L
Furfural	2,44	8,12	0,96257	10 – 50 mg/L
Lösliche Salze (IC)	µg/L	µg/L		
Natrium	1,26	4,19	0,99998	4 – 20 mg/L
Ammonium	5,76	19,2	0,99991	8 – 40 mg/L
Kalium	14,2	47,2	0,99985	4 – 20 mg/L
Magnesium	8,59	28,7	0,99960	4 – 20 mg/L
Calcium	28,4	94,8	0,99974	8 – 40 mg/L
Fluorid	7,99	26,6	0,99976	1 – 5 mg/L
Chlorid	12,8	42,8	0,99996	2 – 10 mg/L
Nitrit	22,9	76,4	0,99995	3 – 15 mg/L
Sulfat	24,0	80,0	0,99999	6 – 30 mg/L
Nitrat	49,9	166,3	0,99980	5 – 25 mg/L
Bromid	60,9	203,0	0,99994	5 – 25 mg/L

Analyt	NG	BG	Korrelations- koeffizient R ²	Kalibrations- bereich
Phosphat	119,3	397,5	0,99944	8 – 40 mg/L
Vitamine (VitaFast®)				
Thiamin · HCl	0,02 µg/L	0,12 µg/L	0,99990	0,12 – 0,6 µg/L
Riboflavin	*0,018 mg/L	*0,4 mg/L	0,99911	0,4 – 2,4 mg/L
Nicotinsäure	0,006 µg/L	0,16 mg/L	0,99999	0,16 – 1,6 mg/L
Ca-Pantothenat	*0,035 mg/L	*0,4 mg/L	0,99881	0,4 – 2,4 mg/L
Pyridoxin · HCl	0,19 µg/L	0,02 mg/L	0,99929	0,02 – 0,12 mg/L
Biotin	*0,13 µg/L	*0,8 µg/L	0,99880	0,8 – 7,2 µg/L
Folsäure	*0,18 µg/L	*1,6 µg/L	0,99956	1,6 – 12,8 µg/L
Cobalamin	*0,21 µg/L	*0,3 µg/L	0,99902	0,3 – 1,8 µg/L
Inositol	6,8 mg/L	22,6 mg/L	0,98035	5 – 50 mg/L
Fettsäuremethylester (GC-MS)				
Methyldecanoat (C10:0)	3,32	11,1	0,99909	40 – 400 mg/L
Methylstearat (C18:0)	16,0	53,4	0,99811	40 – 400 mg/L
UV-Vis				
Aminostickstoff	0,169	0,788	0,99844	1 – 5 mg/L
Gesamtkohlenhydrate	4,98	23,8	0,99836	10 – 150 mg/L
Gesamtpolyphenole (MEBAK)	6,35	30,3	0,99779	10 – 200 mg/L
Gesamtpolyphenole (Folin-Ciocalteu)	3,13	15,2	0,99921	10 – 120 mg/L
Flavonoide	0,923	4,54	0,99873	2 – 20 mg/L
Reduzierende Zucker	11,5	57,4	0,99983	100 – 1.000 mg/L
Spurenelemente (ICP-OES)				
Ag 328,068 nm	0,583	1,94	0,99997	0,01 – 10 mg/L
Al 396,152 nm	30,7	102,4	0,99926	0,01 – 10 mg/L
As 189,042 nm	2,76	9,21	0,99981	0,01 – 10 mg/L
B 249,773 nm	1,36	4,54	0,99997	0,01 – 10 mg/L
Ba 455,403 nm	0,903	3,01	0,99961	0,01 – 10 mg/L
Be 234,861 nm	0,281	0,936	0,99871	0,01 – 10 mg/L
Bi 223,061 nm	3,08	10,3	0,99948	0,01 – 10 mg/L
Ca 422,673 nm	26,2	87,3	0,99944	0,01 – 10 mg/L
Cd 214,438 nm	0,052	0,174	0,99968	0,01 – 10 mg/L
Co 228,616 nm	0,276	0,921	0,99957	0,01 – 10 mg/L
Cr 267,716 nm	0,221	0,736	0,99990	0,01 – 10 mg/L

Analyt		NG	BG	Korrelations- koeffizient R^2	Kalibrations- bereich
Cu	324,754 nm	0,507	1,69	0,99969	0,01 – 10 mg/L
Fe	259,940 nm	0,671	2,24	0,99987	0,01 – 10 mg/L
K	766,490 nm	91,2	303,9	0,96716	0,01 – 10 mg/L
Li	670,784 nm	2,98	9,92	0,99897	0,01 – 1 mg/L
Mg	280,270 nm	0,145	0,483	0,99919	0,01 – 10 mg/L
Mn	293,930 nm	0,385	1,28	0,99978	0,01 – 10 mg/L
Mo	202,030 nm	0,439	1,46	0,99979	0,01 – 10 mg/L
Na	589,592 nm	85,8	286,1	0,99929	0,01 – 10 mg/L
Ni	231,604 nm	0,814	2,71	0,99954	0,01 – 10 mg/L
P	177,495 nm	1,56	5,20	0,99978	0,01 – 10 mg/L
Pb	220,353 nm	1,42	4,73	0,99952	0,01 – 10 mg/L
S	182,034 nm	8,64	28,8	0,99877	0,01 – 10 mg/L
Sb	217,581 nm	2,28	7,59	0,99977	0,01 – 10 mg/L
Se	203,985 nm	3,51	11,7	0,99990	0,01 – 10 mg/L
Sr	407,771 nm	0,319	1,06	0,99984	0,01 – 10 mg/L
Ti	337,280 nm	0,160	0,534	0,99988	0,01 – 10 mg/L
Tl	190,856 nm	2,42	8,08	0,99931	0,01 – 10 mg/L
V	292,464 nm	0,677	2,26	0,99999	0,01 – 10 mg/L
W	239,709 nm	1,96	6,53	0,99997	0,01 – 10 mg/L
Zn	206,200 nm	7,39	24,6	0,99959	0,01 – 10 mg/L
Fermentationsprodukte (HPLC-RI-UV/Vis)		mg/L	mg/L		
Glucose		0,61	2,03	0,99999	0,5 – 3 g/L
Lactat		1,07	3,57	0,99999	0,5 – 3 g/L
Formiat		3,80	12,7	0,99987	0,2 – 1 g/L
Acetat		3,13	10,4	0,99999	0,2 – 1 g/L
Propionat		3,03	10,1	0,99999	0,2 – 1 g/L

n.n. = nicht nachweisbar;

n.b. = nicht bestimmbar, (relative Standardabweichung >50 %)

A.10 Analysendatenblätter der Hefeextrakte

1. Merck Fermtech® Hefeextrakt

Allgemeine Daten		
Trockenmasse	[%]	93,9
Gesamtstickstoff (TN)	[%]	9,54 ± 0,04
Aminostickstoff (AN)	[%]	2,55 ± 0,01
Hydrolysegrad (AN/TN)	[%]	26,8 ± 0,007
Aschegehalt	[%]	30,6

Aminosäuren	frei	gesamt
[g/100 g]		
Alanin	2,17 ± 0,028	3,41 ± 0,022
Asparagin	0,77 ± 0,080	n.n.
Asparaginsäure	0,96 ± 0,067	6,51 ± 0,048
Cystathionin	0,55 ± 0,094	n.n.
Glutaminsäure	3,56 ± 0,543	8,31 ± 0,798
Glycin	0,47 ± 0,016	2,56 ± 0,039
Histidin	0,58 ± 0,080	1,42 ± 0,009
Isoleucin	1,41 ± 0,086	2,83 ± 0,052
Leucin	2,63 ± 0,082	4,17 ± 0,044
Lysin	0,89 ± 0,108	3,31 ± 0,269
Methionin	0,56 ± 0,022	0,88 ± 0,011
Phenylalanin	1,53 ± 0,044	2,53 ± 0,044
Prolin	0,59 ± 0,013	2,67 ± 0,040
Serin	1,43 ± 0,085	2,91 ± 0,029
Threonin	1,12 ± 0,042	2,80 ± 0,025
Tryptophan	0,57 ± 0,043	n.n.
Tyrosin	0,66 ± 0,082	1,52 ± 0,021
Valin	1,86 ± 0,082	3,73 ± 0,117

Fettsäuren	
[mg/g]	
Methyldecanoat (C10:0)	1,21 ± 0,039
Methylstearat (C18:0)	0,238 ± 0,108

Kohlenhydrate	
[mg/g]	

Gesamtgehalt	27,3 ± 0,678
Reduzierende Zucker	11,8 ± 1,176

Kohlenhydrate	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL

Rhamnose	n.n.	n.n.
Arabinose	0,71	3,59 ± 0,046
Galactose	n.n.	0,52 ± 0,036
Glucose	2,31	14,2 ± 0,103
Saccharose	n.n.	n.n.
Xylose	n.n.	n.n.
Mannose	n.n.	23,3 ± 0,041
Fructose	n.n.	n.n.

Hemmstoffe	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL

Formiat	4,30	1,55 ± 0,023
Acetat	5,20	5,24 ± 0,068
Lävulinsäure	0,14	1,71 ± 0,072
Hydroxymethylfurfural	n.n.	0,88 ± 0,154
Furfural	0,65	2,52 ± 0,338

Vitamine		
----------	--	--

Thiamin · HCl	[mg/100 g]	10,7 ± 0,152
Riboflavin	[mg/100 g]	4,95 ± 0,061
Nicotinsäure	[mg/100 g]	98,4 ± 1,376
Ca-Pantothenat	[mg/100 g]	23,7 ± 1,131
Pyridoxin · HCl	[mg/100 g]	9,39 ± 0,295
Biotin	[µg/100 g]	183,5 ± 30,2
Folsäure	[mg/100 g]	5,83 ± 0,038
Cobalamin	[µg/100 g]	9,27 ± 0,115
Inositol	[mg/100 g]	583,3 ± 88,8

Gesamtpolyphenole	
[mg/g]	
nach MEBAK	n.n.
nach Folin-Ciocalteu	17,4 ± 0,678
Flavonoide	0,195 ± 0,006

Lösliche Salze	
[mg/g]	
Natrium	85,2 ± 0,135
Ammonium	28,3 ± 0,161
Kalium	26,3 ± 0,099
Magnesium	0,981 ± 0,053
Calcium	n.n.
Fluorid	2,98 ± 0,024
Chlorid	115,9 ± 0,294
Nitrit	2,38 ± 0,003
Sulfat	4,18 ± 0,006
Nitrat	n.n.
Bromid	2,11 ± 0,003
Phosphat	55,1 ± 0,087

n.n. = nicht nachweisbar; n.b. = nicht bestimmbar,
(relative Standardabweichung >50 %)

Spurenelemente		
[mg/kg]		
Ag	328,068 nm	n.n.
Al	396,152 nm	2,96 ± 0,285
As	189,042 nm	n.n.
B	249,773 nm	1,38 ± 0,012
Ba	455,403 nm	n.n.
Be	234,861 nm	n.n.
Bi	223,061 nm	n.n.
Ca	422,673 nm	304,6 ± 1,405
Cd	214,438 nm	n.n.
Co	228,616 nm	0,967 ± 0,001
Cr	267,716 nm	0,528 ± 0,079
Cu	324,754 nm	0,114 ± 0,007
Fe	259,940 nm	15,6 ± 0,264
K	766,490 nm	31634,6 ± 116,1
Li	670,784 nm	0,096 ± 0,003
Mg	280,270 nm	1182,2 ± 13,15
Mn	293,930 nm	1,10 ± 0,007
Mo	202,030 nm	n.n.
Na	589,592 nm	92965,9 ± 652,8
Ni	231,604 nm	0,160 ± 0,029
P	177,495 nm	24742,7 ± 16,85
Pb	220,353 nm	n.n.
S	182,034 nm	4878,4 ± 10,58
Sb	217,581 nm	n.n.
Se	203,985 nm	n.n.
Sr	407,771 nm	1,30 ± 0,008
Ti	337,280 nm	0,299 ± 0,086
Tl	190,856 nm	n.n.
V	292,464 nm	0,288 ± 0,004
W	239,709 nm	n.n.
Zn	206,200 nm	99,1 ± 0,207

2. Merck Hefeextrakt, granuliert

Allgemeine Daten		
Trockenmasse	[%]	92,7
Gesamtstickstoff (TN)	[%]	11,3 ± 0,08
Aminostickstoff (AN)	[%]	3,87 ± 0,06
Hydrolysegrad (AN/TN)	[%]	34,2 ± 0,29
Aschegehalt	[%]	13,5

Aminosäuren	frei	gesamt
[g/100 g]		
Alanin	3,60 ± 0,063	n.n.
Asparagin	1,53 ± 0,014	n.n.
Asparaginsäure	2,36 ± 0,091	8,13 ± 0,075
Cystathionin	0,61 ± 0,012	n.n.
Glutaminsäure	7,05 ± 1,014	13,8 ± 0,297
Glycin	1,29 ± 0,017	2,86 ± 0,026
Histidin	0,91 ± 0,130	2,14 ± 0,006
Isoleucin	2,20 ± 0,092	3,05 ± 0,053
Leucin	3,89 ± 0,075	5,05 ± 0,019
Lysin	1,74 ± 0,314	5,41 ± 0,138
Methionin	0,71 ± 0,032	1,05 ± 0,048
Phenylalanin	2,29 ± 0,041	2,95 ± 0,033
Prolin	1,35 ± 0,019	2,97 ± 0,009
Serin	2,47 ± 0,031	3,91 ± 0,009
Threonin	2,05 ± 0,012	3,73 ± 0,013
Tryptophan	0,79 ± 0,057	n.n.
Tyrosin	0,67 ± 0,062	1,18 ± 0,013
Valin	2,94 ± 0,036	4,23 ± 0,051

Fettsäuren	
[mg/g]	
Methyldecanoat (C10:0)	2,59 ± 0,104
Methylstearat (C18:0)	n.b.

Kohlenhydrate	
[mg/g]	
Gesamtgehalt	83,1 ± 1,642
Reduzierende Zucker	40,1 ± 2,866

Kohlenhydrate	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Rhamnose	n.n.	n.n.
Arabinose	0,91	1,12 ± 0,050
Galactose	n.n.	n.n.
Glucose	8,91	39,3 ± 0,786
Saccharose	n.n.	n.n.
Xylose	n.n.	n.n.
Mannose	3,12	16,4 ± 0,120
Fructose	n.n.	n.n.

Hemmstoffe	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Formiat	8,46	3,72 ± 0,177
Acetat	6,48	3,69 ± 0,314
Lävulinsäure	n.n.	1,08 ± 0,133
Hydroxymethylfurfural	n.n.	2,80 ± 0,053
Furfural	0,27	1,44 ± 0,072

Vitamine		
Thiamin · HCl	[mg/100 g]	Max.
Riboflavin	[mg/100 g]	10,4 ± 0,272
Nicotinsäure	[mg/100 g]	279,1 ± 1,324
Ca-Pantothenat	[mg/100 g]	61,7 ± 1,234
Pyridoxin · HCl	[mg/100 g]	13,0 ± 0,469
Biotin	[µg/100 g]	Max.
Folsäure	[mg/100 g]	3,61 ± 0,113
Cobalamin	[µg/100 g]	9,72 ± 0,150
Inositol	[mg/100 g]	n.b.

Gesamtpolyphenole	
[mg/g]	
nach MEBAK	n.n.
nach Folin-Ciocalteu	17,9 ± 0,948
Flavonoide	0,147 ± 0,002

Lösliche Salze	
[mg/g]	
Natrium	1,249 ± 0,121
Ammonium	23,1 ± 0,085
Kalium	55,9 ± 0,315
Magnesium	n.n.
Calcium	n.n.
Fluorid	4,080 ± 0,018
Chlorid	1,552 ± 0,002
Nitrit	2,384 ± 0,011
Sulfat	4,652 ± 0,041
Nitrat	n.n.
Bromid	2,210 ± 0,004
Phosphat	25,2 ± 0,042

n.n. = nicht nachweisbar; n.b. = nicht bestimmbar,
(relative Standardabweichung >50 %)

Spurenelemente		
[mg/kg]		
Ag	328,068 nm	n.n.
Al	396,152 nm	1,31 ± 0,485
As	189,042 nm	n.n.
B	249,773 nm	2,27 ± 0,001
Ba	455,403 nm	n.n.
Be	234,861 nm	n.n.
Bi	223,061 nm	n.n.
Ca	422,673 nm	346,4 ± 4,547
Cd	214,438 nm	n.n.
Co	228,616 nm	1,38 ± 0,009
Cr	267,716 nm	0,565 ± 0,019
Cu	324,754 nm	2,31 ± 0,033
Fe	259,940 nm	36,7 ± 0,407
K	766,490 nm	46681,9 ± 666,1
Li	670,784 nm	0,284 ± 0,018
Mg	280,270 nm	107,4 ± 0,952
Mn	293,930 nm	1,49 ± 0,007
Mo	202,030 nm	0,133 ± 0,017
Na	589,592 nm	765,6 ± 15,34
Ni	231,604 nm	0,243 ± 0,001
P	177,495 nm	15793,3 ± 112,7
Pb	220,353 nm	n.n.
S	182,034 nm	6763,3 ± 29,06
Sb	217,581 nm	n.n.
Se	203,985 nm	n.n.
Sr	407,771 nm	4,61 ± 0,070
Ti	337,280 nm	0,658 ± 0,004
Tl	190,856 nm	n.n.
V	292,464 nm	0,237 ± 0,004
W	239,709 nm	0,133 ± 0,003
Zn	206,200 nm	94,6 ± 0,462

3. Ohly CMRT

Allgemeine Daten		
Trockenmasse	[%]	90,6
Gesamtstickstoff (TN)	[%]	11,6 ± 0,08
Aminostickstoff (AN)	[%]	3,93 ± 0,22
Hydrolysegrad (AN/TN)	[%]	34,1 ± 1,66
Aschegehalt	[%]	10,6

Aminosäuren	frei	gesamt
[g/100 g]		
Alanin	5,16 ± 0,060	6,23 ± 0,029
Asparagin	1,35 ± 0,040	n.n.
Asparaginsäure	1,93 ± 0,023	6,70 ± 0,124
Cystathionin	1,20 ± 0,011	n.n.
Glutaminsäure	4,46 ± 0,563	9,41 ± 0,306
Glycin	1,10 ± 0,022	3,01 ± 0,019
Histidin	1,04 ± 0,033	0,99 ± 0,087
Isoleucin	1,63 ± 0,083	2,58 ± 0,078
Leucin	3,12 ± 0,039	4,31 ± 0,100
Lysin	2,10 ± 0,082	3,16 ± 0,072
Methionin	0,68 ± 0,009	0,77 ± 0,037
Phenylalanin	1,81 ± 0,049	2,44 ± 0,019
Prolin	1,82 ± 0,043	3,54 ± 0,015
Serin	3,82 ± 0,435	4,70 ± 0,076
Threonin	1,52 ± 0,028	2,77 ± 0,064
Tryptophan	0,98 ± 0,018	n.n.
Tyrosin	1,44 ± 0,025	1,31 ± 0,169
Valin	2,60 ± 0,043	4,08 ± 0,043

Fettsäuren	
[mg/g]	
Methyldecanoat (C10:0)	5,35 ± 0,326
Methylpalmitoleat (C16:1)	0,059 ± 0,013
Methylstearat (C18:0)	0,194 ± 0,004

Kohlenhydrate	
[mg/g]	
Gesamtgehalt	35,2 ± 0,370
Reduzierende Zucker	15,7 ± 0,052

Kohlenhydrate	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Rhamnose	n.n.	n.n.
Arabinose	0,65	1,76 ± 0,037
Galactose	n.n.	n.n.
Glucose	2,41	10,2 ± 0,628
Saccharose	n.n.	n.n.
Xylose	n.n.	n.n.
Mannose	n.n.	24,1 ± 0,092
Fructose	n.n.	n.n.

Hemmstoffe	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Formiat	17,7	n.n.
Acetat	15,6	12,8 ± 0,105
Lävulinsäure	n.n.	n.n.
Hydroxymethylfurfural	n.n.	0,87 ± 0,070
Furfural	0,49	1,59 ± 0,303

Vitamine		
Thiamin · HCl	[mg/100 g]	4,97 ± 0,770
Riboflavin	[mg/100 g]	5,25 ± 0,053
Nicotinsäure	[mg/100 g]	84,7 ± 0,000
Ca-Pantothenat	[mg/100 g]	34,6 ± 1,654
Pyridoxin · HCl	[mg/100 g]	15,4 ± 0,035
Biotin	[µg/100 g]	73,7 ± 32,7
Folsäure	[mg/100 g]	5,91 ± 0,086
Cobalamin	[µg/100 g]	10,0 ± 0,296
Inositol	[mg/100 g]	950,9 ± 200,2

Gesamtpolyphenole	
[mg/g]	
nach MEBAK	0,512 ± 0,079
nach Folin-Ciocalteu	22,7 ± 2,195
Flavonoide	0,398 ± 0,003

Lösliche Salze	
[mg/g]	
Natrium	2,10 ± 0,008
Ammonium	7,93 ± 0,010
Kalium	35,3 ± 0,200
Magnesium	0,950 ± 0,006
Calcium	n.n.
Fluorid	8,48 ± 0,004
Chlorid	4,40 ± 0,076
Nitrit	n.n.
Sulfat	2,82 ± 0,001
Nitrat	n.n.
Bromid	2,15 ± 0,000
Phosphat	31,2 ± 0,029

n.n. = nicht nachweisbar; n.b. = nicht bestimmbar,
(relative Standardabweichung >50 %)

Spurenelemente		
[mg/kg]		
Ag	328,068 nm	n.n.
Al	396,152 nm	2,37 ± 0,026
As	189,042 nm	n.n.
B	249,773 nm	1,96 ± 0,012
Ba	455,403 nm	0,302 ± 0,015
Be	234,861 nm	n.n.
Bi	223,061 nm	0,114 ± 0,070
Ca	422,673 nm	1387,5 ± 7,833
Cd	214,438 nm	n.n.
Co	228,616 nm	0,121 ± 0,000
Cr	267,716 nm	0,940 ± 0,120
Cu	324,754 nm	0,610 ± 0,084
Fe	259,940 nm	21,9 ± 0,670
K	766,490 nm	35254,6 ± 353,3
Li	670,784 nm	n.n.
Mg	280,270 nm	1764,7 ± 13,09
Mn	293,930 nm	14,91 ± 0,193
Mo	202,030 nm	0,135 ± 0,009
Na	589,592 nm	2096,5 ± 28,66
Ni	231,604 nm	0,348 ± 0,060
P	177,495 nm	22027,5 ± 41,56
Pb	220,353 nm	n.n.
S	182,034 nm	6248,7 ± 21,13
Sb	217,581 nm	n.n.
Se	203,985 nm	n.n.
Sr	407,771 nm	7,33 ± 0,033
Ti	337,280 nm	0,809 ± 0,054
Tl	190,856 nm	n.n.
V	292,464 nm	0,983 ± 0,010
W	239,709 nm	0,160 ± 0,030
Zn	206,200 nm	180,3 ± 1,809

4. Ohly CMT MP

Allgemeine Daten		
Trockenmasse	[%]	96,5
Gesamtstickstoff (TN)	[%]	11,5 ± 0,08
Aminostickstoff (AN)	[%]	3,31 ± 0,34
Hydrolysegrad (AN/TN)	[%]	28,8 ± 2,76
Aschegehalt	[%]	19,3

Aminosäuren	frei	gesamt
[g/100 g]		
Alanin	3,66 ± 0,058	4,74 ± 0,072
Asparagin	0,95 ± 0,021	n.n.
Asparaginsäure	1,72 ± 0,002	6,11 ± 0,277
Cystathionin	1,20 ± 0,029	n.n.
Glutaminsäure	4,97 ± 0,674	8,38 ± 0,501
Glycin	0,69 ± 0,007	2,89 ± 0,036
Histidin	0,91 ± 0,011	0,71 ± 0,012
Isoleucin	1,64 ± 0,051	2,44 ± 0,028
Leucin	3,05 ± 0,037	4,11 ± 0,032
Lysin	2,15 ± 0,057	2,43 ± 0,053
Methionin	0,69 ± 0,012	0,93 ± 0,017
Phenylalanin	1,86 ± 0,036	2,39 ± 0,028
Prolin	1,45 ± 0,011	3,11 ± 0,040
Serin	3,37 ± 0,039	4,02 ± 0,075
Threonin	1,37 ± 0,013	2,54 ± 0,171
Tryptophan	0,99 ± 0,021	n.n.
Tyrosin	0,79 ± 0,019	0,87 ± 0,020
Valin	2,48 ± 0,045	3,89 ± 0,045

Fettsäuren	
[mg/g]	
Methyldecanoat (C10:0)	4,17 ± 0,422
Methylstearat (C18:0)	0,130 ± 0,004

Kohlenhydrate	
[mg/g]	
Gesamtgehalt	26,8 ± 0,556
Reduzierende Zucker	11,3 ± 0,469

Kohlenhydrate	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Rhamnose	n.n.	n.n.
Arabinose	0,67	1,04 ± 0,036
Galactose	n.n.	n.n.
Glucose	2,30	14,7 ± 1,760
Saccharose	n.n.	n.n.
Xylose	n.n.	n.n.
Mannose	n.n.	8,18 ± 0,041
Fructose	n.n.	n.n.

Hemmstoffe	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Formiat	14,7	n.n.
Acetat	20,0	17,0 ± 0,028
Lävulinsäure	n.n.	n.n.
Hydroxymethylfurfural	n.n.	0,61 ± 0,029
Furfural	0,49	1,17 ± 0,027

Vitamine		
Thiamin · HCl	[mg/100 g]	3,51 ± 0,282
Riboflavin	[mg/100 g]	5,01 ± 0,165
Nicotinsäure	[mg/100 g]	83,3 ± 2,934
Ca-Pantothenat	[mg/100 g]	33,4 ± 1,399
Pyridoxin · HCl	[mg/100 g]	11,2 ± 0,327
Biotin	[µg/100 g]	96,7 ± 19,8
Folsäure	[mg/100 g]	5,10 ± 0,786
Cobalamin	[µg/100 g]	9,32 ± 0,496
Inositol	[mg/100 g]	797,7 ± 25,2

Gesamtpolyphenole	
[mg/g]	
nach MEBAK	n.n.
nach Folin-Ciocalteu	19,4 ± 1,207
Flavonoide	0,031 ± 0,002

Lösliche Salze	
[mg/g]	
Natrium	10,0 ± 0,021
Ammonium	n.n.
Kalium	63,3 ± 0,039
Magnesium	0,199 ± 0,010
Calcium	n.n.
Fluorid	7,69 ± 0,014
Chlorid	10,9 ± 0,003
Nitrit	1,19 ± 0,014
Sulfat	2,51 ± 0,001
Nitrat	2,91 ± 0,004
Bromid	2,09 ± 0,001
Phosphat	30,8 ± 0,123

n.n. = nicht nachweisbar; n.b. = nicht bestimmbar,
(relative Standardabweichung >50 %)

Spurenelemente		
[mg/kg]		
Ag	328,068 nm	n.n.
Al	396,152 nm	2,08 ± 0,387
As	189,042 nm	n.n.
B	249,773 nm	1,14 ± 0,008
Ba	455,403 nm	0,126 ± 0,015
Be	234,861 nm	n.n.
Bi	223,061 nm	0,219 ± 0,037
Ca	422,673 nm	550,6 ± 5,184
Cd	214,438 nm	n.n.
Co	228,616 nm	0,129 ± 0,002
Cr	267,716 nm	0,754 ± 0,001
Cu	324,754 nm	0,225 ± 0,013
Fe	259,940 nm	19,4 ± 0,259
K	766,490 nm	59979,0 ± 319,2
Li	670,784 nm	0,115 ± 0,084
Mg	280,270 nm	617,2 ± 3,560
Mn	293,930 nm	2,76 ± 0,028
Mo	202,030 nm	n.n.
Na	589,592 nm	10659,9 ± 1633,0
Ni	231,604 nm	0,170 ± 0,000
P	177,495 nm	18701,1 ± 11,46
Pb	220,353 nm	n.n.
S	182,034 nm	5900,3 ± 24,34
Sb	217,581 nm	n.n.
Se	203,985 nm	n.n.
Sr	407,771 nm	2,74 ± 0,060
Ti	337,280 nm	0,672 ± 0,087
Tl	190,856 nm	n.n.
V	292,464 nm	0,618 ± 0,009
W	239,709 nm	0,219 ± 0,005
Zn	206,200 nm	212,5 ± 0,116

5. Ohly CPT

Allgemeine Daten		
Trockenmasse	[%]	91,9
Gesamtstickstoff (TN)	[%]	11,7 ± 0,02
Aminostickstoff (AN)	[%]	3,95 ± 0,02
Hydrolysegrad (AN/TN)	[%]	33,7 ± 0,11
Aschegehalt	[%]	7,5

Aminosäuren	frei	gesamt
[g/100 g]		
Alanin	4,83 ± 0,086	6,35 ± 0,059
Asparagin	1,12 ± 0,039	n.n.
Asparaginsäure	1,60 ± 0,029	6,46 ± 0,174
Cystathionin	1,21 ± 0,004	n.n.
Glutaminsäure	5,61 ± 0,505	10,85 ± 0,228
Glycin	0,97 ± 0,013	3,01 ± 0,037
Histidin	1,03 ± 0,046	0,71 ± 0,130
Isoleucin	1,40 ± 0,041	2,50 ± 0,010
Leucin	2,70 ± 0,042	4,17 ± 0,028
Lysin	1,90 ± 0,083	2,91 ± 0,038
Methionin	0,57 ± 0,003	0,88 ± 0,018
Phenylalanin	1,56 ± 0,053	2,36 ± 0,052
Prolin	1,95 ± 0,065	3,70 ± 0,083
Serin	3,33 ± 0,332	4,58 ± 0,143
Threonin	1,16 ± 0,001	2,64 ± 0,146
Tryptophan	0,93 ± 0,022	n.n.
Tyrosin	0,91 ± 0,034	1,11 ± 0,024
Valin	2,27 ± 0,014	3,94 ± 0,021

Fettsäuren	
[mg/g]	
Methyldecanoat (C10:0)	4,81 ± 0,126
Methylstearat (C18:0)	0,135 ± 0,052

Kohlenhydrate	
[mg/g]	
Gesamtgehalt	32,2 ± 0,163
Reduzierende Zucker	13,3 ± 0,209

Kohlenhydrate	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Rhamnose	n.n.	n.n.
Arabinose	0,65	1,34 ± 0,028
Galactose	n.n.	n.n.
Glucose	2,34	14,7 ± 0,107
Saccharose	n.n.	n.n.
Xylose	n.n.	n.n.
Mannose	n.n.	15,9 ± 0,623
Fructose	n.n.	n.n.

Hemmstoffe	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Formiat	17,0	n.n.
Acetat	11,6	9,33 ± 0,591
Lävulinsäure	n.n.	n.n.
Hydroxymethylfurfural	n.n.	0,68 ± 0,045
Furfural	0,52	1,27 ± 0,119

Vitamine		
Thiamin · HCl	[mg/100 g]	5,35 ± 0,993
Riboflavin	[mg/100 g]	5,12 ± 0,148
Nicotinsäure	[mg/100 g]	95,1 ± 1,394
Ca-Pantothenat	[mg/100 g]	32,9 ± 0,727
Pyridoxin · HCl	[mg/100 g]	16,0 ± 0,000
Biotin	[µg/100 g]	162,5 ± 6,106
Folsäure	[mg/100 g]	6,49 ± 0,021
Cobalamin	[µg/100 g]	9,22 ± 0,345
Inositol	[mg/100 g]	801,3 ± 284,1

Gesamtpolyphenole	
[mg/g]	
nach MEBAK	n.n.
nach Folin-Ciocalteu	20,7 ± 0,108
Flavonoide	0,237 ± 0,002

Lösliche Salze	
[mg/g]	
Natrium	5,30 ± 0,010
Ammonium	9,21 ± 0,098
Kalium	33,1 ± 0,051
Magnesium	1,07 ± 0,044
Calcium	n.n.
Fluorid	9,07 ± 0,001
Chlorid	4,03 ± 0,027
Nitrit	1,17 ± 0,003
Sulfat	2,61 ± 0,001
Nitrat	2,91 ± 0,002
Bromid	2,10 ± 0,000
Phosphat	27,3 ± 0,128

n.n. = nicht nachweisbar; n.b. = nicht bestimmbar,
(relative Standardabweichung >50 %)

Spurenelemente		
[mg/kg]		
Ag	328,068 nm	n.n.
Al	396,152 nm	2,55 ± 0,460
As	189,042 nm	n.n.
B	249,773 nm	1,76 ± 0,005
Ba	455,403 nm	0,287 ± 0,002
Be	234,861 nm	n.n.
Bi	223,061 nm	0,126 ± 0,001
Ca	422,673 nm	1465,8 ± 5,977
Cd	214,438 nm	n.n.
Co	228,616 nm	0,236 ± 0,005
Cr	267,716 nm	0,901 ± 0,125
Cu	324,754 nm	0,658 ± 0,006
Fe	259,940 nm	25,3 ± 0,550
K	766,490 nm	32922,1 ± 11,45
Li	670,784 nm	n.n.
Mg	280,270 nm	1892,1 ± 8,282
Mn	293,930 nm	14,22 ± 0,025
Mo	202,030 nm	0,103 ± 0,015
Na	589,592 nm	5803,0 ± 42,37
Ni	231,604 nm	0,352 ± 0,084
P	177,495 nm	19209,7 ± 90,64
Pb	220,353 nm	n.n.
S	182,034 nm	6154,0 ± 81,40
Sb	217,581 nm	n.n.
Se	203,985 nm	n.n.
Sr	407,771 nm	7,91 ± 0,007
Ti	337,280 nm	1,03 ± 0,242
Tl	190,856 nm	n.n.
V	292,464 nm	1,05 ± 0,028
W	239,709 nm	0,147 ± 0,054
Zn	206,200 nm	170,2 ± 0,364

6. Ohly CPT MP

Allgemeine Daten		
Trockenmasse	[%]	95,8
Gesamtstickstoff (TN)	[%]	11,4 ± 0,23
Aminostickstoff (AN)	[%]	3,48 ± 0,18
Hydrolysegrad (AN/TN)	[%]	30,4 ± 0,96
Aschegehalt	[%]	17,5

Aminosäuren	frei	gesamt
[g/100 g]		
Alanin	3,87 ± 0,002	5,21 ± 0,060
Asparagin	0,97 ± 0,038	n.n.
Asparaginsäure	1,61 ± 0,084	6,62 ± 0,190
Cystathionin	1,19 ± 0,008	n.n.
Glutaminsäure	5,10 ± 0,302	9,06 ± 1,296
Glycin	0,67 ± 0,003	2,99 ± 0,017
Histidin	0,93 ± 0,003	0,68 ± 0,031
Isoleucin	1,57 ± 0,053	2,62 ± 0,010
Leucin	2,88 ± 0,037	4,25 ± 0,036
Lysin	2,16 ± 0,095	2,61 ± 0,005
Methionin	0,64 ± 0,004	0,82 ± 0,028
Phenylalanin	1,76 ± 0,003	2,49 ± 0,040
Prolin	1,45 ± 0,020	3,31 ± 0,032
Serin	3,23 ± 0,298	4,20 ± 0,308
Threonin	1,35 ± 0,015	2,80 ± 0,093
Tryptophan	0,98 ± 0,006	n.n.
Tyrosin	0,86 ± 0,015	0,83 ± 0,005
Valin	2,39 ± 0,016	4,08 ± 0,029

Fettsäuren	
[mg/g]	
Methyldecanoat (C10:0)	4,50 ± 0,154
Methylstearat (C18:0)	0,166 ± 0,022

Kohlenhydrate	
[mg/g]	
Gesamtgehalt	40,3 ± 0,269
Reduzierende Zucker	10,6 ± 0,209

Kohlenhydrate	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Rhamnose	n.n.	n.n.
Arabinose	0,67	1,02 ± 0,002
Galactose	n.n.	n.n.
Glucose	2,33	27,4 ± 0,142
Saccharose	n.n.	n.n.
Xylose	n.n.	n.n.
Mannose	n.n.	7,39 ± 0,027
Fructose	n.n.	n.n.

Hemmstoffe	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Formiat	12,8	n.n.
Acetat	19,6	16,3 ± 0,204
Lävulinsäure	n.n.	n.n.
Hydroxymethylfurfural	n.n.	0,72 ± 0,042
Furfural	0,47	0,96 ± 0,009

Vitamine		
Thiamin · HCl	[mg/100 g]	4,34 ± 0,432
Riboflavin	[mg/100 g]	4,25 ± 0,158
Nicotinsäure	[mg/100 g]	88,5 ± 0,716
Ca-Pantothenat	[mg/100 g]	29,6 ± 3,632
Pyridoxin · HCl	[mg/100 g]	12,0 ± 0,466
Biotin	[µg/100 g]	96,5 ± 25,6
Folsäure	[mg/100 g]	4,43 ± 0,045
Cobalamin	[µg/100 g]	8,80 ± 0,156
Inositol	[mg/100 g]	855,1 ± 321,1

Gesamtpolyphenole	
[mg/g]	
nach MEBAK	n.n.
nach Folin-Ciocalteu	18,8 ± 0,292
Flavonoide	0,031 ± 0,002

Lösliche Salze	
[mg/g]	
Natrium	5,04 ± 0,047
Ammonium	n.n.
Kalium	61,2 ± 0,301
Magnesium	0,330 ± 0,001
Calcium	n.n.
Fluorid	7,44 ± 0,034
Chlorid	3,48 ± 0,029
Nitrit	1,17 ± 0,013
Sulfat	1,63 ± 0,002
Nitrat	2,94 ± 0,002
Bromid	2,13 ± 0,005
Phosphat	30,0 ± 0,193

n.n. = nicht nachweisbar; n.b. = nicht bestimmbar,
(relative Standardabweichung >50 %)

Spurenelemente		
[mg/kg]		
Ag	328,068 nm	n.n.
Al	396,152 nm	2,55 ± 0,069
As	189,042 nm	n.n.
B	249,773 nm	1,29 ± 0,015
Ba	455,403 nm	n.n.
Be	234,861 nm	n.n.
Bi	223,061 nm	0,139 ± 0,010
Ca	422,673 nm	611,3 ± 17,67
Cd	214,438 nm	n.n.
Co	228,616 nm	0,195 ± 0,005
Cr	267,716 nm	0,685 ± 0,028
Cu	324,754 nm	0,260 ± 0,007
Fe	259,940 nm	21,6 ± 0,189
K	766,490 nm	58067,2 ± 62,68
Li	670,784 nm	n.n.
Mg	280,270 nm	799,5 ± 0,579
Mn	293,930 nm	3,94 ± 0,013
Mo	202,030 nm	n.n.
Na	589,592 nm	5422,1 ± 6,001
Ni	231,604 nm	0,146 ± 0,003
P	177,495 nm	17546,4 ± 92,43
Pb	220,353 nm	n.n.
S	182,034 nm	5704,2 ± 59,52
Sb	217,581 nm	n.n.
Se	203,985 nm	n.n.
Sr	407,771 nm	2,60 ± 0,008
Ti	337,280 nm	0,702 ± 0,005
Tl	190,856 nm	n.n.
V	292,464 nm	0,694 ± 0,007
W	239,709 nm	0,145 ± 0,077
Zn	206,200 nm	170,4 ± 0,489

7. Ohly CTT-R

Allgemeine Daten		
Trockenmasse	[%]	95,7
Gesamtstickstoff (TN)	[%]	11,5 ± 0,04
Aminostickstoff (AN)	[%]	2,16 ± 0,03
Hydrolysegrad (AN/TN)	[%]	18,8 ± 0,20
Aschegehalt	[%]	11,8

Aminosäuren	frei	gesamt
[g/100 g]		
Alanin	3,09 ± 0,037	5,89 ± 0,140
Asparagin	0,22 ± 0,002	n.n.
Asparaginsäure	n.b.	6,45 ± 0,218
Cystathionin	1,25 ± 0,010	n.n.
Glutaminsäure	4,45 ± 0,109	12,4 ± 0,359
Glycin	0,20 ± 0,005	2,97 ± 0,023
Histidin	0,79 ± 0,025	0,71 ± 0,017
Isoleucin	n.n.	2,07 ± 0,034
Leucin	0,70 ± 0,003	3,86 ± 0,034
Lysin	1,11 ± 0,059	2,55 ± 0,379
Methionin	0,25 ± 0,002	0,87 ± 0,014
Phenylalanin	0,31 ± 0,007	2,20 ± 0,026
Prolin	0,59 ± 0,006	3,14 ± 0,039
Serin	0,47 ± 0,025	2,77 ± 0,219
Threonin	0,18 ± 0,012	2,58 ± 0,157
Tryptophan	0,62 ± 0,001	n.n.
Tyrosin	0,43 ± 0,026	1,17 ± 0,098
Valin	0,34 ± 0,004	3,45 ± 0,030

Fettsäuren	
[mg/g]	
Methyldecanoat (C10:0)	2,28 ± 0,056
Methylstearat (C18:0)	0,142 ± 0,014

Kohlenhydrate	
[mg/g]	
Gesamtgehalt	69,2 ± 0,741
Reduzierende Zucker	15,3 ± 0,365

Kohlenhydrate	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Rhamnose	n.n.	n.n.
Arabinose	0,65	1,28 ± 0,095
Galactose	n.n.	n.n.
Glucose	2,50	28,4 ± 0,799
Saccharose	n.n.	n.n.
Xylose	n.n.	n.n.
Mannose	n.n.	34,7 ± 0,144
Fructose	n.n.	n.n.

Hemmstoffe	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Formiat	4,89	3,64 ± 0,009
Acetat	3,72	3,72 ± 0,003
Lävulinsäure	n.n.	0,71 ± 0,193
Hydroxymethylfurfural	n.n.	1,34 ± 0,097
Furfural	1,18	1,66 ± 0,060

Vitamine		
Thiamin · HCl	[mg/100 g]	4,17 ± 0,192
Riboflavin	[mg/100 g]	5,52 ± 0,241
Nicotinsäure	[mg/100 g]	111,1 ± 1,535
Ca-Pantothenat	[mg/100 g]	27,2 ± 0,274
Pyridoxin · HCl	[mg/100 g]	9,28 ± 0,191
Biotin	[µg/100 g]	86,5 ± 36,78
Folsäure	[mg/100 g]	5,159 ± 0,215
Cobalamin	[µg/100 g]	16,6 ± 0,060
Inositol	[mg/100 g]	765,4 ± 223,7

Gesamtpolyphenole	
[mg/g]	
nach MEBAK	0,586 ± 0,000
nach Folin-Ciocalteu	19,1 ± 0,436
Flavonoide	0,551 ± 0,002

Lösliche Salze	
[mg/g]	
Natrium	8,77 ± 0,022
Ammonium	1,52 ± 0,025
Kalium	36,1 ± 0,090
Magnesium	0,907 ± 0,008
Calcium	n.n.
Fluorid	5,19 ± 0,002
Chlorid	2,54 ± 0,019
Nitrit	1,13 ± 0,005
Sulfat	2,33 ± 0,005
Nitrat	2,96 ± 0,000
Bromid	2,17 ± 0,002
Phosphat	25,9 ± 0,057

n.n. = nicht nachweisbar; n.b. = nicht bestimmbar,
(relative Standardabweichung >50 %)

Spurenelemente		
[mg/kg]		
Ag	328,068 nm	n.n.
Al	396,152 nm	5,48 ± 0,137
As	189,042 nm	n.n.
B	249,773 nm	1,66 ± 0,035
Ba	455,403 nm	0,285 ± 0,035
Be	234,861 nm	n.n.
Bi	223,061 nm	n.n.
Ca	422,673 nm	1552,0 ± 12,93
Cd	214,438 nm	n.n.
Co	228,616 nm	1,09 ± 0,029
Cr	267,716 nm	0,544 ± 0,237
Cu	324,754 nm	0,951 ± 0,291
Fe	259,940 nm	60,5 ± 1,565
K	766,490 nm	37245,3 ± 2061,8
Li	670,784 nm	n.n.
Mg	280,270 nm	1682,9 ± 10,15
Mn	293,930 nm	10,4 ± 0,290
Mo	202,030 nm	n.n.
Na	589,592 nm	9985,8 ± 672,0
Ni	231,604 nm	0,267 ± 0,007
P	177,495 nm	16159,6 ± 3965,3
Pb	220,353 nm	n.n.
S	182,034 nm	5376,3 ± 619,2
Sb	217,581 nm	n.n.
Se	203,985 nm	n.n.
Sr	407,771 nm	8,79 ± 0,160
Ti	337,280 nm	0,504 ± 0,185
Tl	190,856 nm	n.n.
V	292,464 nm	1,18 ± 0,285
W	239,709 nm	n.n.
Zn	206,200 nm	661,4 ± 41,58

8. Ohly KAT

Allgemeine Daten		
Trockenmasse	[%]	90,5
Gesamtstickstoff (TN)	[%]	11,6 ± 0,12
Aminostickstoff (AN)	[%]	3,94 ± 0,05
Hydrolysegrad (AN/TN)	[%]	38,0 ± 0,08
Aschegehalt	[%]	10,3

Aminosäuren	frei	gesamt
[g/100 g]		
Alanin	5,72 ± 0,034	5,56 ± 0,046
Asparagin	1,53 ± 0,093	n.n.
Asparaginsäure	2,31 ± 0,052	5,79 ± 0,119
Cystathionin	1,19 ± 0,014	n.n.
Glutaminsäure	4,78 ± 0,119	7,81 ± 0,376
Glycin	1,25 ± 0,013	2,46 ± 0,023
Histidin	1,12 ± 0,025	0,85 ± 0,045
Isoleucin	1,93 ± 0,055	2,16 ± 0,036
Leucin	3,46 ± 0,038	3,73 ± 0,027
Lysin	2,11 ± 0,150	2,53 ± 0,179
Methionin	0,70 ± 0,004	0,76 ± 0,007
Phenylalanin	2,03 ± 0,036	2,13 ± 0,031
Prolin	2,03 ± 0,034	3,10 ± 0,021
Serin	4,49 ± 0,301	4,41 ± 0,075
Threonin	1,57 ± 0,055	2,21 ± 0,028
Tryptophan	1,04 ± 0,007	n.n.
Tyrosin	1,24 ± 0,037	0,87 ± 0,038
Valin	2,99 ± 0,074	3,54 ± 0,034

Fettsäuren	
[mg/g]	
Methyldecanoat (C10:0)	7,19 ± 0,317
Methylstearat (C18:0)	0,118 ± 0,055

Kohlenhydrate	
[mg/g]	
Gesamtgehalt	25,4 ± 0,375
Reduzierende Zucker	13,1 ± 0,085

Kohlenhydrate	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Rhamnose	n.n.	n.n.
Arabinose	0,64	1,43 ± 0,043
Galactose	n.n.	n.n.
Glucose	2,27	7,78 ± 0,172
Saccharose	n.n.	n.n.
Xylose	n.n.	n.n.
Mannose	n.n.	19,9 ± 0,014
Fructose	n.n.	n.n.

Hemmstoffe	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Formiat	14,1	n.n.
Acetat	16,6	13,7 ± 0,004
Lävulinsäure	n.n.	n.n.
Hydroxymethylfurfural	n.n.	0,61 ± 0,008
Furfural	0,33	1,11 ± 0,004

Vitamine		
Thiamin · HCl	[mg/100 g]	Min.
Riboflavin	[mg/100 g]	5,56 ± 0,063
Nicotinsäure	[mg/100 g]	85,8 ± 0,725
Ca-Pantothenat	[mg/100 g]	34,3 ± 0,642
Pyridoxin · HCl	[mg/100 g]	15,4 ± 0,505
Biotin	[µg/100 g]	122,3 ± 4,660
Folsäure	[mg/100 g]	6,58 ± 0,419
Cobalamin	[µg/100 g]	9,40 ± 0,380
Inositol	[mg/100 g]	1255,8 ± 452,1

Gesamtpolyphenole	
[mg/g]	
nach MEBAK	0,059 ± 0,000
nach Folin-Ciocalteu	24,4 ± 0,190
Flavonoide	0,310 ± 0,005

Lösliche Salze	
[mg/g]	
Natrium	2,10 ± 0,001
Ammonium	7,75 ± 0,042
Kalium	35,6 ± 0,030
Magnesium	1,02 ± 0,062
Calcium	n.n.
Fluorid	8,81 ± 0,008
Chlorid	4,90 ± 0,026
Nitrit	1,17 ± 0,001
Sulfat	2,65 ± 0,002
Nitrat	n.n.
Bromid	2,12 ± 0,001
Phosphat	28,3 ± 0,052

n.n. = nicht nachweisbar; n.b. = nicht bestimmbar,
(relative Standardabweichung >50 %)

Spurenelemente		
[mg/kg]		
Ag	328,068 nm	n.n.
Al	396,152 nm	1,91 ± 0,232
As	189,042 nm	n.n.
B	249,773 nm	1,60 ± 0,011
Ba	455,403 nm	0,297 ± 0,019
Be	234,861 nm	n.n.
Bi	223,061 nm	0,168 ± 0,031
Ca	422,673 nm	1321,1 ± 5,065
Cd	214,438 nm	n.n.
Co	228,616 nm	0,095 ± 0,003
Cr	267,716 nm	0,709 ± 0,138
Cu	324,754 nm	0,707 ± 0,029
Fe	259,940 nm	23,9 ± 0,439
K	766,490 nm	35731,0 ± 14,70
Li	670,784 nm	0,147 ± 0,031
Mg	280,270 nm	1872,0 ± 6,329
Mn	293,930 nm	13,9 ± 0,096
Mo	202,030 nm	0,094 ± 0,004
Na	589,592 nm	2097,9 ± 3,657
Ni	231,604 nm	0,259 ± 0,053
P	177,495 nm	19886,3 ± 57,36
Pb	220,353 nm	n.n.
S	182,034 nm	6329,5 ± 109,4
Sb	217,581 nm	n.n.
Se	203,985 nm	n.n.
Sr	407,771 nm	6,79 ± 0,065
Ti	337,280 nm	0,850 ± 0,291
Tl	190,856 nm	n.n.
V	292,464 nm	1,00 ± 0,005
W	239,709 nm	0,134 ± 0,024
Zn	206,200 nm	171,5 ± 0,536

9. Ohly KAT GMP

Allgemeine Daten		
Trockenmasse	[%]	93,4
Gesamtstickstoff (TN)	[%]	11,9 ± 0,14
Aminostickstoff (AN)	[%]	4,13 ± 0,07
Hydrolysegrad (AN/TN)	[%]	34,7 ± 0,18
Aschegehalt	[%]	17,6

Aminosäuren	frei	gesamt
[g/100 g]		
Alanin	4,24 ± 0,101	5,20 ± 0,086
Asparagin	1,27 ± 0,081	n.n.
Asparaginsäure	2,20 ± 0,183	6,76 ± 0,117
Cystathionin	n.n.	n.n.
Glutaminsäure	3,88 ± 0,200	7,81 ± 0,421
Glycin	0,87 ± 0,014	3,11 ± 0,060
Histidin	0,96 ± 0,006	0,69 ± 0,025
Isoleucin	2,20 ± 0,011	2,86 ± 0,030
Leucin	3,91 ± 0,058	4,62 ± 0,018
Lysin	2,65 ± 0,058	2,25 ± 0,354
Methionin	0,86 ± 0,011	1,01 ± 0,010
Phenylalanin	2,38 ± 0,002	2,67 ± 0,058
Prolin	1,91 ± 0,038	3,55 ± 0,014
Serin	4,44 ± 0,093	5,09 ± 0,036
Threonin	1,85 ± 0,070	2,84 ± 0,121
Tryptophan	1,09 ± 0,012	n.n.
Tyrosin	0,93 ± 0,008	0,69 ± 0,049
Valin	3,20 ± 0,045	4,44 ± 0,054

Fettsäuren	
[mg/g]	
Methyldecanoat (C10:0)	5,66 ± 0,389
Methylstearat (C18:0)	0,173 ± 0,024

Kohlenhydrate	
[mg/g]	
Gesamtgehalt	8,43 ± 0,405
Reduzierende Zucker	10,0 ± 0,469

Kohlenhydrate	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Rhamnose	n.n.	n.n.
Arabinose	0,69	1,14 ± 0,043
Galactose	n.n.	n.n.
Glucose	2,28	2,55 ± 0,020
Saccharose	n.n.	n.n.
Xylose	n.n.	n.n.
Mannose	n.n.	6,31 ± 0,152
Fructose	n.n.	n.n.

Hemmstoffe	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Formiat	14,5	n.n.
Acetat	25,2	22,6 ± 0,106
Lävulinsäure	n.n.	n.n.
Hydroxymethylfurfural	n.n.	0,51 ± 0,151
Furfural	0,32	0,88 ± 3·10 ⁻⁵

Vitamine		
Thiamin · HCl	[mg/100 g]	4,57 ± 0,750
Riboflavin	[mg/100 g]	4,68 ± 0,128
Nicotinsäure	[mg/100 g]	88,2 ± 1,195
Ca-Pantothenat	[mg/100 g]	38,2 ± 1,365
Pyridoxin · HCl	[mg/100 g]	9,80 ± 1,566
Biotin	[µg/100 g]	120,5 ± 0,517
Folsäure	[mg/100 g]	4,22 ± 0,067
Cobalamin	[µg/100 g]	9,00 ± 0,039
Inositol	[mg/100 g]	1125,4 ± 104,1

Gesamtpolyphenole	
[mg/g]	
nach MEBAK	n.n.
nach Folin-Ciocalteu	19,9 ± 0,325
Flavonoide	0,026 ± 0,002

Lösliche Salze	
[mg/g]	
Natrium	1,24 ± 0,004
Ammonium	0,216 ± 0,017
Kalium	64,8 ± 0,231
Magnesium	0,271 ± 0,031
Calcium	n.n.
Fluorid	8,18 ± 0,031
Chlorid	n.n.
Nitrit	n.n.
Sulfat	1,50 ± 0,002
Nitrat	n.n.
Bromid	n.n.
Phosphat	34,5 ± 0,144

n.n. = nicht nachweisbar; n.b. = nicht bestimmbar,
(relative Standardabweichung >50 %)

Spurenelemente		
[mg/kg]		
Ag	328,068 nm	n.n.
Al	396,152 nm	0,863 ± 0,437
As	189,042 nm	n.n.
B	249,773 nm	0,894 ± 0,046
Ba	455,403 nm	n.n.
Be	234,861 nm	n.n.
Bi	223,061 nm	n.n.
Ca	422,673 nm	317,0 ± 15,33
Cd	214,438 nm	n.n.
Co	228,616 nm	0,111 ± 0,029
Cr	267,716 nm	0,798 ± 0,059
Cu	324,754 nm	0,193 ± 0,072
Fe	259,940 nm	18,60 ± 0,256
K	766,490 nm	61647,8 ± 2215,5
Li	670,784 nm	n.n.
Mg	280,270 nm	680,3 ± 28,89
Mn	293,930 nm	1,37 ± 0,013
Mo	202,030 nm	n.n.
Na	589,592 nm	1245,3 ± 79,46
Ni	231,604 nm	0,144 ± 0,006
P	177,495 nm	19151,8 ± 321,9
Pb	220,353 nm	n.n.
S	182,034 nm	5626,5 ± 109,5
Sb	217,581 nm	n.n.
Se	203,985 nm	n.n.
Sr	407,771 nm	1,18 ± 0,005
Ti	337,280 nm	0,684 ± 0,010
Tl	190,856 nm	n.n.
V	292,464 nm	0,646 ± 0,004
W	239,709 nm	0,185 ± 0,059
Zn	206,200 nm	133,9 ± 0,039

10. Ohly PTK

Allgemeine Daten		
Trockenmasse	[%]	95,9
Gesamtstickstoff (TN)	[%]	11,7 ± 0,06
Aminostickstoff (AN)	[%]	4,37 ± 0,09
Hydrolysegrad (AN/TN)	[%]	37,3 ± 0,58
Aschegehalt	[%]	17,9

Aminosäuren	frei	gesamt
[g/100 g]		
Alanin	4,83 ± 0,047	5,32 ± 0,189
Asparagin	1,61 ± 0,059	n.n.
Asparaginsäure	2,41 ± 0,063	7,91 ± 0,432
Cystathionin	1,17 ± 0,013	n.n.
Glutaminsäure	5,12 ± 0,241	11,0 ± 0,454
Glycin	1,17 ± 0,004	3,20 ± 0,052
Histidin	1,06 ± 0,017	2,29 ± 0,093
Isoleucin	2,12 ± 0,015	2,83 ± 0,120
Leucin	3,47 ± 0,020	4,29 ± 0,132
Lysin	3,01 ± 0,168	5,69 ± 0,251
Methionin	0,83 ± 0,008	0,80 ± 0,004
Phenylalanin	2,44 ± 0,015	2,85 ± 0,005
Prolin	2,01 ± 0,004	3,64 ± 0,039
Serin	4,55 ± 0,088	5,91 ± 0,364
Threonin	1,72 ± 0,014	3,20 ± 0,071
Tryptophan	1,17 ± 0,009	n.n.
Tyrosin	0,35 ± 0,020	0,73 ± 0,004
Valin	3,40 ± 0,019	4,39 ± 0,127

Fettsäuren	
[mg/g]	
Methyldecanoat (C10:0)	6,07 ± 0,304
Methylstearat (C18:0)	n.b.

Kohlenhydrate	
[mg/g]	
Gesamtgehalt	4,76 ± 0,107
Reduzierende Zucker	9,72 ± 0,678

Kohlenhydrate	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Rhamnose	n.n.	n.n.
Arabinose	0,65	0,97 ± 0,004
Galactose	n.n.	n.n.
Glucose	2,34	n.b.
Saccharose	n.n.	n.n.
Xylose	n.n.	n.n.
Mannose	n.n.	2,38 ± 0,099
Fructose	n.n.	n.n.

Hemmstoffe	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Formiat	18,2	n.n.
Acetat	23,5	21,3 ± 0,044
Lävulinsäure	0,53	n.n.
Hydroxymethylfurfural	n.n.	0,35 ± 0,038
Furfural	0,28	0,89 ± 0,092

Vitamine		
Thiamin · HCl	[mg/100 g]	n.b.
Riboflavin	[mg/100 g]	5,20 ± 0,158
Nicotinsäure	[mg/100 g]	74,1 ± 1,024
Ca-Pantothenat	[mg/100 g]	38,9 ± 1,109
Pyridoxin · HCl	[mg/100 g]	12,9 ± 0,000
Biotin	[µg/100 g]	100,7 ± 45,2
Folsäure	[mg/100 g]	3,50 ± 0,116
Cobalamin	[µg/100 g]	9,16 ± 0,115
Inositol	[mg/100 g]	1257,8 ± 154,9

Gesamtpolyphenole	
[mg/g]	
nach MEBAK	n.n.
nach Folin-Ciocalteu	25,7 ± 0,310
Flavonoide	n.n.

Lösliche Salze	
[mg/g]	
Natrium	1,16 ± 0,002
Ammonium	n.n.
Kalium	75,3 ± 0,081
Magnesium	n.n.
Calcium	n.n.
Fluorid	8,60 ± 0,005
Chlorid	4,09 ± 0,025
Nitrit	n.n.
Sulfat	1,49 ± 0,002
Nitrat	n.n.
Bromid	n.n.
Phosphat	31,0 ± 0,040

n.n. = nicht nachweisbar; n.b. = nicht bestimmbar,
(relative Standardabweichung >50 %)

Spurenelemente		
[mg/kg]		
Ag	328,068 nm	n.n.
Al	396,152 nm	0,901 ± 0,033
As	189,042 nm	n.n.
B	249,773 nm	0,903 ± 0,031
Ba	455,403 nm	n.n.
Be	234,861 nm	n.n.
Bi	223,061 nm	0,143 ± 0,034
Ca	422,673 nm	195,2 ± 4,906
Cd	214,438 nm	n.n.
Co	228,616 nm	n.n.
Cr	267,716 nm	0,747 ± 0,026
Cu	324,754 nm	n.n.
Fe	259,940 nm	22,0 ± 0,472
K	766,490 nm	70497,7 ± 175,7
Li	670,784 nm	0,114 ± 0,027
Mg	280,270 nm	119,7 ± 0,261
Mn	293,930 nm	0,807 ± 0,028
Mo	202,030 nm	n.n.
Na	589,592 nm	1072,2 ± 19,48
Ni	231,604 nm	0,131 ± 0,002
P	177,495 nm	18261,8 ± 62,90
Pb	220,353 nm	n.n.
S	182,034 nm	5425,0 ± 22,21
Sb	217,581 nm	n.n.
Se	203,985 nm	n.n.
Sr	407,771 nm	1,05 ± 0,010
Ti	337,280 nm	0,673 ± 0,003
Tl	190,856 nm	n.n.
V	292,464 nm	0,430 ± 0,014
W	239,709 nm	0,248 ± 0,094
Zn	206,200 nm	150,7 ± 0,584

11. Ohly PTU

Allgemeine Daten		
Trockenmasse	[%]	91,0
Gesamtstickstoff (TN)	[%]	11,3 ± 0,06
Aminostickstoff (AN)	[%]	2,39 ± 0,03
Hydrolysegrad (AN/TN)	[%]	21,2 ± 0,15
Aschegehalt	[%]	11,8

Aminosäuren	frei	gesamt
[g/100 g]		
Alanin	3,53 ± 0,043	5,77 ± 0,059
Asparagin	0,29 ± 0,024	n.n.
Asparaginsäure	0,24 ± 0,060	6,17 ± 0,213
Cystathionin	1,22 ± 0,013	n.n.
Glutaminsäure	6,36 ± 0,168	13,4 ± 0,370
Glycin	0,29 ± 0,008	2,62 ± 0,025
Histidin	0,78 ± 0,008	0,90 ± 0,096
Isoleucin	n.n.	1,79 ± 0,002
Leucin	0,67 ± 0,002	3,52 ± 0,028
Lysin	0,80 ± 0,028	2,77 ± 0,374
Methionin	0,21 ± 0,006	0,80 ± 0,021
Phenylalanin	0,31 ± 0,004	2,02 ± 0,005
Prolin	1,36 ± 0,0004	3,62 ± 0,048
Serin	0,37 ± 0,034	2,81 ± 0,058
Threonin	0,17 ± 0,025	2,59 ± 0,020
Tryptophan	0,62 ± 0,003	n.n.
Tyrosin	0,61 ± 0,088	1,42 ± 0,083
Valin	0,53 ± 0,010	3,18 ± 0,046

Fettsäuren	
[mg/g]	
Methyldecanoat (C10:0)	3,07 ± 0,011
Methylstearat (C18:0)	n.b.

Kohlenhydrate	
[mg/g]	
Gesamtgehalt	56,8 ± 0,762
Reduzierende Zucker	14,1 ± 0,052

Kohlenhydrate	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Rhamnose	n.n.	n.n.
Arabinose	0,68	1,65 ± 0,002
Galactose	n.n.	n.n.
Glucose	2,32	30,2 ± 0,693
Saccharose	n.n.	n.n.
Xylose	n.n.	n.n.
Mannose	n.n.	8,48 ± 0,133
Fructose	n.n.	n.n.

Hemmstoffe	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Formiat	26,8	n.n.
Acetat	3,31	4,14 ± 0,210
Lävulinsäure	n.n.	n.n.
Hydroxymethylfurfural	n.n.	0,83 ± 0,018
Furfural	0,90	1,19 ± 0,083

Vitamine		
Thiamin · HCl	[mg/100 g]	4,32 ± 0,861
Riboflavin	[mg/100 g]	4,72 ± 0,359
Nicotinsäure	[mg/100 g]	122,0 ± 2,131
Ca-Pantothenat	[mg/100 g]	26,8 ± 1,753
Pyridoxin · HCl	[mg/100 g]	13,5 ± 0,375
Biotin	[µg/100 g]	64,7 ± 11,7
Folsäure	[mg/100 g]	5,23 ± 0,029
Cobalamin	[µg/100 g]	8,39 ± 0,119
Inositol	[mg/100 g]	n.b.

Gesamtpolyphenole	
[mg/g]	
nach MEBAK	0,059 ± 0,000
nach Folin-Ciocalteu	18,9 ± 0,108
Flavonoide	0,052 ± 0,025

Lösliche Salze	
[mg/g]	
Natrium	14,4
Ammonium	30,8
Kalium	32,3
Magnesium	1,51
Calcium	n.n.
Fluorid	6,55
Chlorid	2,68
Nitrit	n.n.
Sulfat	3,12
Nitrat	n.n.
Bromid	2,11
Phosphat	22,9

n.n. = nicht nachweisbar; n.b. = nicht bestimmbar,
(relative Standardabweichung >50 %)

Spurenelemente		
[mg/kg]		
Ag	328,068 nm	n.n.
Al	396,152 nm	2,86 ± 0,131
As	189,042 nm	n.n.
B	249,773 nm	2,25 ± 0,021
Ba	455,403 nm	0,207 ± 0,018
Be	234,861 nm	n.n.
Bi	223,061 nm	0,125 ± 0,014
Ca	422,673 nm	1634,3 ± 19,33
Cd	214,438 nm	n.n.
Co	228,616 nm	0,252 ± 0,010
Cr	267,716 nm	0,881 ± 0,293
Cu	324,754 nm	0,303 ± 0,038
Fe	259,940 nm	21,2 ± 0,834
K	766,490 nm	29416,4 ± 216,6
Li	670,784 nm	0,123 ± 0,002
Mg	280,270 nm	2078,5 ± 5,072
Mn	293,930 nm	14,8 ± 0,078
Mo	202,030 nm	0,125 ± 0,077
Na	589,592 nm	15610,6 ± 24,30
Ni	231,604 nm	0,377 ± 0,131
P	177,495 nm	13102,0 ± 133,3
Pb	220,353 nm	n.n.
S	182,034 nm	5682,7 ± 43,46
Sb	217,581 nm	n.n.
Se	203,985 nm	n.n.
Sr	407,771 nm	9,29 ± 0,023
Ti	337,280 nm	0,600 ± 0,078
Tl	190,856 nm	n.n.
V	292,464 nm	1,14 ± 0,006
W	239,709 nm	0,146 ± 0,019
Zn	206,200 nm	196,0 ± 0,299

12. Lallemand FNI 100

Allgemeine Daten		
Trockenmasse	[%]	93,5
Gesamtstickstoff (TN)	[%]	10,2 ± 0,009
Aminostickstoff (AN)	[%]	3,32 ± 0,03
Hydrolysegrad (AN/TN)	[%]	32,4 ± 0,27
Aschegehalt	[%]	10,6

Aminosäuren	frei	gesamt
[g/100 g]		
Alanin	2,44 ± 0,026	3,24 ± 0,065
Asparagin	1,07 ± 0,012	n.n.
Asparaginsäure	2,50 ± 0,028	7,71 ± 0,156
Cystathionin	n.n.	0,97 ± 0,014
Glutaminsäure	3,94 ± 0,774	9,10 ± 0,457
Glycin	0,85 ± 0,031	2,40 ± 0,022
Histidin	1,01 ± 0,001	1,77 ± 0,046
Isoleucin	1,54 ± 0,001	2,49 ± 0,037
Leucin	3,08 ± 0,023	4,05 ± 0,006
Lysin	1,63 ± 0,026	4,59 ± 0,159
Methionin	0,69 ± 0,004	0,82 ± 0,019
Phenylalanin	1,90 ± 0,045	2,43 ± 0,030
Prolin	0,88 ± 0,001	2,42 ± 0,013
Serin	2,37 ± 0,118	4,04 ± 0,150
Threonin	1,32 ± 0,024	3,01 ± 0,059
Tryptophan	1,03 ± 0,008	n.n.
Tyrosin	1,82 ± 0,067	1,88 ± 0,080
Valin	2,28 ± 0,006	3,42 ± 0,025

Fettsäuren	
[mg/g]	
Methyldecanoat (C10:0)	0,943 ± 0,011
Methylstearat (C18:0)	n.n.

Kohlenhydrate	
[mg/g]	
Gesamtgehalt	172,3 ± 2,404
Reduzierende Zucker	47,5 ± 0,209

Kohlenhydrate	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Rhamnose	n.n.	n.n.
Arabinose	0,78	2,02 ± 0,010
Galactose	n.n.	0,73 ± 0,021
Glucose	10,9	92,0 ± 0,380
Saccharose	n.n.	n.n.
Xylose	n.n.	n.n.
Mannose	3,22	26,7 ± 0,044
Fructose	n.n.	n.n.

Hemmstoffe	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Formiat	25,7	6,05 ± 0,019
Acetat	3,38	2,94 ± 0,141
Lävulinsäure	0,13	4,16 ± 0,284
Hydroxymethylfurfural	n.n.	2,30 ± 0,155
Furfural	0,50	1,94 ± 0,071

Vitamine		
Thiamin · HCl	[mg/100 g]	9,59 ± 0,214
Riboflavin	[mg/100 g]	4,81 ± 0,043
Nicotinsäure	[mg/100 g]	51,1 ± 0,878
Ca-Pantothenat	[mg/100 g]	33,2 ± 1,010
Pyridoxin · HCl	[mg/100 g]	5,63 ± 0,467
Biotin	[µg/100 g]	91,4 ± 20,2
Folsäure	[mg/100 g]	10,4 ± 0,024
Cobalamin	[µg/100 g]	8,91 ± 0,155
Inositol	[mg/100 g]	960,3 ± 283,3

Gesamtpolyphenole	
[mg/g]	
nach MEBAK	0,059 ± 0,000
nach Folin-Ciocalteu	21,1 ± 0,590
Flavonoide	0,525 ± 0,013

Lösliche Salze	
[mg/g]	
Natrium	6,48 ± 0,008
Ammonium	n.n.
Kalium	35,4 ± 0,160
Magnesium	1,50 ± 0,010
Calcium	n.n.
Fluorid	4,13 ± 0,005
Chlorid	1,77 ± 0,028
Nitrit	1,17 ± 0,002
Sulfat	10,5 ± 0,010
Nitrat	n.n.
Bromid	2,39 ± 0,005
Phosphat	22,3 ± 0,002

n.n. = nicht nachweisbar; n.b. = nicht bestimmbar,
(relative Standardabweichung >50 %)

Spurenelemente		
[mg/kg]		
Ag	328,068 nm	n.n.
Al	396,152 nm	20,0 ± 0,726
As	189,042 nm	n.n.
B	249,773 nm	1,77 ± 0,022
Ba	455,403 nm	0,184 ± 0,019
Be	234,861 nm	n.n.
Bi	223,061 nm	n.n.
Ca	422,673 nm	1390,7 ± 5,167
Cd	214,438 nm	n.n.
Co	228,616 nm	1,83 ± 0,018
Cr	267,716 nm	0,596 ± 0,006
Cu	324,754 nm	7,99 ± 0,018
Fe	259,940 nm	33,0 ± 0,263
K	766,490 nm	30530,9 ± 596,5
Li	670,784 nm	n.n.
Mg	280,270 nm	1756,1 ± 4,910
Mn	293,930 nm	14,0 ± 0,069
Mo	202,030 nm	0,164 ± 0,024
Na	589,592 nm	6772,6 ± 1,536
Ni	231,604 nm	0,489 ± 0,050
P	177,495 nm	16640,2 ± 107,9
Pb	220,353 nm	n.n.
S	182,034 nm	9003,8 ± 0,429
Sb	217,581 nm	n.n.
Se	203,985 nm	n.n.
Sr	407,771 nm	14,9 ± 0,158
Ti	337,280 nm	0,456 ± 0,022
Tl	190,856 nm	n.n.
V	292,464 nm	1,00 ± 0,019
W	239,709 nm	0,183 ± 0,057
Zn	206,200 nm	161,0 ± 0,613

13. Lallemand FNI 103 ag

Allgemeine Daten		
Trockenmasse	[%]	93,3
Gesamtstickstoff (TN)	[%]	9,85 ± 0,04
Aminostickstoff (AN)	[%]	2,92 ± 0,006
Hydrolysegrad (AN/TN)	[%]	29,7 ± 0,06
Aschegehalt	[%]	10,4

Aminosäuren	frei	gesamt
[g/100 g]		
Alanin	2,16 ± 0,009	3,18 ± 0,052
Asparagin	0,84 ± 0,015	n.n.
Asparaginsäure	1,94 ± 0,119	6,17 ± 0,127
Cystathionin	n.n.	n.n.
Glutaminsäure	3,50 ± 0,082	6,82 ± 0,286
Glycin	0,74 ± 0,012	2,34 ± 0,021
Histidin	0,94 ± 0,003	0,76 ± 0,031
Isoleucin	1,29 ± 0,018	2,26 ± 0,028
Leucin	2,61 ± 0,001	3,66 ± 0,025
Lysin	1,36 ± 0,046	2,48 ± 0,0002
Methionin	0,56 ± 0,009	0,71 ± 0,021
Phenylalanin	1,64 ± 0,008	2,22 ± 0,022
Prolin	0,83 ± 0,013	2,36 ± 0,025
Serin	1,97 ± 0,082	3,14 ± 0,109
Threonin	1,03 ± 0,034	2,45 ± 0,041
Tryptophan	0,96 ± 0,004	n.n.
Tyrosin	1,58 ± 0,015	1,17 ± 0,044
Valin	1,97 ± 0,003	3,31 ± 0,037

Fettsäuren	
[mg/g]	
Methyldecanoat (C10:0)	1,23 ± 0,035
Methylpalmitoleat (C16:1)	1,32 ± 0,069
Methylstearat (C18:0)	0,668 ± 0,076
Methylelaidinat (C18:1n9trans)	1,09 ± 0,030

Kohlenhydrate	
[mg/g]	
Gesamtgehalt	139,4 ± 15,99
Reduzierende Zucker	54,7 ± 2,607

Kohlenhydrate	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Rhamnose	n.n.	n.n.
Arabinose	0,75	1,99 ± 0,102
Galactose	0,098	1,02 ± 0,168
Glucose	5,90	83,3 ± 0,868
Saccharose	n.n.	n.n.
Xylose	n.n.	n.n.
Mannose	0,94	30,7 ± 0,806
Fructose	n.n.	n.n.

Hemmstoffe	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Formiat	25,5	6,78 ± 0,011
Acetat	3,34	3,16 ± 0,181
Lävulinsäure	n.n.	4,33 ± 0,075
Hydroxymethylfurfural	n.n.	2,62 ± 0,103
Furfural	0,39	1,86 ± 0,033

Vitamine		
Thiamin · HCl	[mg/100 g]	9,22 ± 0,271
Riboflavin	[mg/100 g]	4,58 ± 0,051
Nicotinsäure	[mg/100 g]	51,7 ± 0,583
Ca-Pantothenat	[mg/100 g]	30,9 ± 0,892
Pyridoxin · HCl	[mg/100 g]	5,16 ± 0,143
Biotin	[µg/100 g]	87,9 ± 1,988
Folsäure	[mg/100 g]	6,33 ± 0,121
Cobalamin	[µg/100 g]	9,32 ± 0,038
Inositol	[mg/100 g]	486,8 ± 83,7

Gesamtpolyphenole	
[mg/g]	
nach MEBAK	0,217 ± 0,039
nach Folin-Ciocalteu	23,3 ± 0,406
Flavonoide	0,695 ± 0,034

Lösliche Salze	
[mg/g]	
Natrium	3,70 ± 0,010
Ammonium	n.n.
Kalium	33,1 ± 0,074
Magnesium	1,13 ± 0,004
Calcium	n.n.
Fluorid	4,63 ± 0,011
Chlorid	1,65 ± 0,014
Nitrit	1,21 ± 0,034
Sulfat	14,2 ± 0,011
Nitrat	n.n.
Bromid	2,46 ± 0,002
Phosphat	19,0 ± 0,023

n.n. = nicht nachweisbar; n.b. = nicht bestimmbar,
(relative Standardabweichung >50 %)

Spurenelemente		
[mg/kg]		
Ag	328,068 nm	n.n.
Al	396,152 nm	9,89 ± 0,512
As	189,042 nm	n.n.
B	249,773 nm	3,38 ± 0,710
Ba	455,403 nm	0,426 ± 0,062
Be	234,861 nm	n.n.
Bi	223,061 nm	n.n.
Ca	422,673 nm	1202,1 ± 34,11
Cd	214,438 nm	0,112 ± 0,037
Co	228,616 nm	1,08 ± 0,033
Cr	267,716 nm	0,978 ± 0,372
Cu	324,754 nm	5,08 ± 0,024
Fe	259,940 nm	847,2 ± 30,30
K	766,490 nm	32095,7 ± 5324,7
Li	670,784 nm	n.n.
Mg	280,270 nm	1554,3 ± 46,54
Mn	293,930 nm	2052,1 ± 36,13
Mo	202,030 nm	0,093 ± 0,004
Na	589,592 nm	3841,3 ± 277,2
Ni	231,604 nm	0,340 ± 0,112
P	177,495 nm	12759,1 ± 2649,2
Pb	220,353 nm	0,293 ± 0,109
S	182,034 nm	9343,1 ± 920,9
Sb	217,581 nm	n.n.
Se	203,985 nm	9,71 ± 4,673
Sr	407,771 nm	13,5 ± 0,331
Ti	337,280 nm	0,554 ± 0,018
Tl	190,856 nm	3,63 ± 0,832
V	292,464 nm	1,01 ± 0,344
W	239,709 nm	n.n.
Zn	206,200 nm	1563,1 ± 135,4

14. Lallemand FNI 105 ag

Allgemeine Daten		
Trockenmasse	[%]	93,0
Gesamtstickstoff (TN)	[%]	9,72 ± 0,04
Aminostickstoff (AN)	[%]	3,16 ± 0,03
Hydrolysegrad (AN/TN)	[%]	32,5 ± 0,17
Aschegehalt	[%]	10,1

Aminosäuren	frei	gesamt
[g/100 g]		
Alanin	2,32 ± 0,010	2,99 ± 0,060
Asparagin	1,09 ± 0,026	n.n.
Asparaginsäure	2,32 ± 0,046	7,36 ± 0,121
Cystathionin	1,18 ± 0,016	1,19 ± 0,040
Glutaminsäure	3,47 ± 0,009	7,21 ± 0,397
Glycin	0,90 ± 0,040	2,23 ± 0,013
Histidin	1,02 ± 0,018	1,78 ± 0,031
Isoleucin	1,53 ± 0,040	2,44 ± 0,054
Leucin	3,06 ± 0,009	4,05 ± 0,023
Lysin	1,77 ± 0,037	4,01 ± 0,150
Methionin	0,66 ± 0,001	0,81 ± 0,008
Phenylalanin	1,88 ± 0,023	2,50 ± 0,023
Prolin	0,90 ± 0,009	2,44 ± 0,030
Serin	2,34 ± 0,084	4,00 ± 0,056
Threonin	1,31 ± 0,015	3,11 ± 0,022
Tryptophan	1,05 ± 0,002	n.n.
Tyrosin	1,79 ± 0,094	2,00 ± 0,034
Valin	2,25 ± 0,014	3,38 ± 0,035

Fettsäuren	
[mg/g]	
Methyldecanoat (C10:0)	0,726 ± 0,058
Methylstearat (C18:0)	0,109 ± 0,039

Kohlenhydrate	
[mg/g]	
Gesamtgehalt	173,7 ± 4,399
Reduzierende Zucker	50,0 ± 0,939

Kohlenhydrate	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Rhamnose	n.n.	n.n.
Arabinose	0,78	1,72 ± 0,069
Galactose	0,063	0,94 ± 0,015
Glucose	10,6	101,6 ± 0,166
Saccharose	n.n.	n.n.
Xylose	n.n.	n.n.
Mannose	3,03	29,2 ± 0,318
Fructose	n.n.	n.n.

Hemmstoffe	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Formiat	23,8	5,63 ± 0,034
Acetat	3,82	2,23 ± 0,040
Lävulinsäure	0,11	2,72 ± 0,146
Hydroxymethylfurfural	n.n.	3,73 ± 0,047
Furfural	0,49	n.b.

Vitamine		
Thiamin · HCl	[mg/100 g]	Max.
Riboflavin	[mg/100 g]	10,2 ± 0,035
Nicotinsäure	[mg/100 g]	Max.
Ca-Pantothenat	[mg/100 g]	32,7 ± 0,034
Pyridoxin · HCl	[mg/100 g]	14,6 ± 0,280
Biotin	[µg/100 g]	Max.
Folsäure	[mg/100 g]	9,12 ± 0,219
Cobalamin	[µg/100 g]	9,08 ± 0,000
Inositol	[mg/100 g]	762,1 ± 130,3

Gesamtpolyphenole	
[mg/g]	
nach MEBAK	0,059 ± 0,000
nach Folin-Ciocalteu	23,4 ± 0,657
Flavonoide	0,641 ± 0,032

Lösliche Salze	
[mg/g]	
Natrium	7,45 ± 0,010
Ammonium	n.n.
Kalium	32,5 ± 0,028
Magnesium	1,36 ± 0,011
Calcium	n.n.
Fluorid	3,80 ± 0,003
Chlorid	1,91 ± 0,008
Nitrit	1,23 ± 0,007
Sulfat	9,30 ± 0,023
Nitrat	n.n.
Bromid	2,35 ± 0,001
Phosphat	21,2 ± 0,101

n.n. = nicht nachweisbar; n.b. = nicht bestimmbar,
(relative Standardabweichung >50 %)

Spurenelemente		
[mg/kg]		
Ag	328,068 nm	n.n.
Al	396,152 nm	36,0 ± 0,229
As	189,042 nm	n.n.
B	249,773 nm	1,63 ± 0,012
Ba	455,403 nm	0,153 ± 0,006
Be	234,861 nm	n.n.
Bi	223,061 nm	n.n.
Ca	422,673 nm	1580,8 ± 6,250
Cd	214,438 nm	n.n.
Co	228,616 nm	1,65 ± 0,006
Cr	267,716 nm	0,521 ± 0,046
Cu	324,754 nm	7,06 ± 0,216
Fe	259,940 nm	49,9 ± 0,138
K	766,490 nm	27335,4 ± 173,4
Li	670,784 nm	n.n.
Mg	280,270 nm	1657,4 ± 10,35
Mn	293,930 nm	9,72 ± 0,018
Mo	202,030 nm	0,147 ± 0,007
Na	589,592 nm	7609,2 ± 40,74
Ni	231,604 nm	0,377 ± 0,024
P	177,495 nm	16342,9 ± 53,29
Pb	220,353 nm	n.n.
S	182,034 nm	8432,3 ± 24,66
Sb	217,581 nm	n.n.
Se	203,985 nm	n.n.
Sr	407,771 nm	15,3 ± 0,209
Ti	337,280 nm	0,407 ± 0,112
Tl	190,856 nm	n.n.
V	292,464 nm	0,966 ± 0,009
W	239,709 nm	0,164 ± 0,027
Zn	206,200 nm	103,7 ± 0,289

15. Lallemand FNI 200

Allgemeine Daten		
Trockenmasse	[%]	92,9
Gesamtstickstoff (TN)	[%]	9,29 ± 0,03
Aminostickstoff (AN)	[%]	2,38 ± 0,02
Hydrolysegrad (AN/TN)	[%]	25,7 ± 0,13
Aschegehalt	[%]	9,40

Aminosäuren	frei	gesamt
[g/100 g]		
Alanin	1,91 ± 0,008	2,97 ± 0,056
Asparagin	0,75 ± 0,062	n.n.
Asparaginsäure	1,11 ± 0,004	5,04 ± 0,082
Cystathionin	n.n.	n.n.
Glutaminsäure	0,64 ± 0,025	4,17 ± 0,090
Glycin	0,67 ± 0,008	2,30 ± 0,018
Histidin	0,94 ± 0,008	0,87 ± 0,026
Isoleucin	0,97 ± 0,045	1,86 ± 0,043
Leucin	2,26 ± 0,005	3,41 ± 0,035
Lysin	1,01 ± 0,027	2,16 ± 0,026
Methionin	0,26 ± 0,007	0,73 ± 0,019
Phenylalanin	1,38 ± 0,004	2,03 ± 0,015
Prolin	0,93 ± 0,002	2,74 ± 0,053
Serin	2,15 ± 0,026	3,48 ± 0,155
Threonin	0,75 ± 0,025	2,21 ± 0,060
Tryptophan	0,85 ± 0,008	n.n.
Tyrosin	0,90 ± 0,0002	1,08 ± 0,024
Valin	1,59 ± 0,005	2,98 ± 0,003

Fettsäuren	
[mg/g]	
Methyldecanoat (C10:0)	1,53 ± 0,076
Methylstearat (C18:0)	0,123 ± 0,005
Methylarachinoat (C20:0)	0,824 ± 0,058

Kohlenhydrate	
[mg/g]	
Gesamtgehalt	191,9 ± 11,72
Reduzierende Zucker	74,5 ± 0,469

Kohlenhydrate	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Rhamnose	n.n.	n.n.
Arabinose	0,75	5,81 ± 0,057
Galactose	n.n.	n.n.
Glucose	3,11	136,0 ± 6,103
Saccharose	n.n.	n.n.
Xylose	n.n.	4,19 ± 0,066
Mannose	n.n.	41,8 ± 0,242
Fructose	n.n.	n.n.

Hemmstoffe	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Formiat	18,8	9,44 ± 0,137
Acetat	7,58	6,20 ± 0,410
Lävulinsäure	n.n.	2,76 ± 0,064
Hydroxymethylfurfural	n.n.	3,03 ± 0,072
Furfural	n.n.	0,87 ± 0,327

Vitamine		
Thiamin · HCl	[mg/100 g]	9,55 ± 0,256
Riboflavin	[mg/100 g]	3,16 ± 0,134
Nicotinsäure	[mg/100 g]	86,7 ± 0,482
Ca-Pantothenat	[mg/100 g]	13,8 ± 0,138
Pyridoxin · HCl	[mg/100 g]	9,72 ± 0,207
Biotin	[µg/100 g]	114,0 ± 47,2
Folsäure	[mg/100 g]	2,72 ± 0,028
Cobalamin	[µg/100 g]	18,7 ± 0,400
Inositol	[mg/100 g]	708,9 ± 45,1

Gesamtpolyphenole	
[mg/g]	
nach MEBAK	5,21 ± 0,084
nach Folin-Ciocalteu	28,6 ± 0,759
Flavonoide	0,905 ± 0,016

Lösliche Salze	
[mg/g]	
Natrium	9,81 ± 0,005
Ammonium	1,38 ± 0,024
Kalium	21,5 ± 0,018
Magnesium	1,90 ± 0,029
Calcium	n.n.
Fluorid	10,1 ± 0,020
Chlorid	1,64 ± 0,009
Nitrit	n.n.
Sulfat	2,62 ± 0,002
Nitrat	n.n.
Bromid	2,11 ± 0,002
Phosphat	37,8 ± 0,080

n.n. = nicht nachweisbar; n.b. = nicht bestimmbar,
(relative Standardabweichung >50 %)

Spurenelemente		
[mg/kg]		
Ag	328,068 nm	n.n.
Al	396,152 nm	1,97 ± 0,075
As	189,042 nm	0,989 ± 0,056
B	249,773 nm	1,71 ± 0,038
Ba	455,403 nm	0,091 ± 0,022
Be	234,861 nm	n.n.
Bi	223,061 nm	n.n.
Ca	422,673 nm	602,4 ± 10,39
Cd	214,438 nm	n.n.
Co	228,616 nm	n.n.
Cr	267,716 nm	0,827 ± 0,080
Cu	324,754 nm	2,37 ± 0,035
Fe	259,940 nm	27,3 ± 0,149
K	766,490 nm	19399,7 ± 608,1
Li	670,784 nm	0,277 ± 0,060
Mg	280,270 nm	2489,2 ± 15,18
Mn	293,930 nm	1,65 ± 0,006
Mo	202,030 nm	1,13 ± 0,012
Na	589,592 nm	10739,5 ± 323,4
Ni	231,604 nm	1,21 ± 0,011
P	177,495 nm	21947,7 ± 872,5
Pb	220,353 nm	n.n.
S	182,034 nm	5213,9 ± 24,82
Sb	217,581 nm	n.n.
Se	203,985 nm	n.n.
Sr	407,771 nm	1,69 ± 0,023
Ti	337,280 nm	0,553 ± 0,010
Tl	190,856 nm	n.n.
V	292,464 nm	1,24 ± 0,004
W	239,709 nm	n.n.
Zn	206,200 nm	86,4 ± 1,413

16. Lallemand FNI 210

Allgemeine Daten		
Trockenmasse	[%]	93,7
Gesamtstickstoff (TN)	[%]	10,6 ± 0,06
Aminostickstoff (AN)	[%]	3,53 ± 0,04
Hydrolysegrad (AN/TN)	[%]	33,4 ± 0,19
Aschegehalt	[%]	11,4

Aminosäuren	frei	gesamt
[g/100 g]		
Alanin	2,92 ± 0,031	3,43 ± 0,061
Asparagin	1,50 ± 0,031	n.n.
Asparaginsäure	2,32 ± 0,022	6,21 ± 0,057
Cystathionin	n.n.	n.n.
Glutaminsäure	2,96 ± 0,116	6,48 ± 0,048
Glycin	1,24 ± 0,019	2,51 ± 0,045
Histidin	0,87 ± 0,001	0,88 ± 0,028
Isoleucin	1,79 ± 0,025	2,48 ± 0,028
Leucin	3,42 ± 0,016	4,00 ± 0,032
Lysin	1,35 ± 0,089	2,80 ± 0,049
Methionin	0,60 ± 0,006	0,85 ± 0,014
Phenylalanin	1,95 ± 0,002	2,43 ± 0,072
Prolin	1,01 ± 0,010	2,56 ± 0,054
Serin	2,91 ± 0,027	2,93 ± 0,063
Threonin	1,82 ± 0,020	2,56 ± 0,043
Tryptophan	0,68 ± 0,008	n.n.
Tyrosin	1,50 ± 0,025	1,52 ± 0,080
Valin	2,41 ± 0,030	3,58 ± 0,009

Fettsäuren	
[mg/g]	
Methyldecanoat (C10:0)	1,90 ± 0,007
Methylstearat (C18:0)	0,369 ± 0,112
Methylarachinoat (C20:0)	0,863 ± 0,032

Kohlenhydrate	
[mg/g]	
Gesamtgehalt	87,8 ± 0,868
Reduzierende Zucker	34,7 ± 0,730

Kohlenhydrate	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Rhamnose	n.n.	n.n.
Arabinose	0,75	2,00 ± 0,033
Galactose	0,15	0,83 ± 0,080
Glucose	3,90	38,5 ± 0,577
Saccharose	n.n.	n.n.
Xylose	n.n.	n.n.
Mannose	2,41	23,1 ± 0,235
Fructose	n.n.	n.n.

Hemmstoffe	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Formiat	56,2	11,6 ± 0,769
Acetat	10,9	9,76 ± 0,084
Lävulinsäure	n.n.	1,45 ± 0,101
Hydroxymethylfurfural	n.n.	2,53 ± 0,015
Furfural	0,37	1,37 ± 0,176

Vitamine		
Thiamin · HCl	[mg/100 g]	Max.
Riboflavin	[mg/100 g]	4,94 ± 0,242
Nicotinsäure	[mg/100 g]	74,4 ± 2,044
Ca-Pantothenat	[mg/100 g]	18,9 ± 0,997
Pyridoxin · HCl	[mg/100 g]	7,05 ± 0,344
Biotin	[µg/100 g]	107,5 ± 14,7
Folsäure	[mg/100 g]	4,97 ± 0,083
Cobalamin	[µg/100 g]	10,1 ± 0,074
Inositol	[mg/100 g]	680,0 ± 14,4

Gesamtpolyphenole	
[mg/g]	
nach MEBAK	0,625 ± 0,039
nach Folin-Ciocalteu	28,0 ± 1,021
Flavonoide	0,668 ± 0,027

Lösliche Salze	
[mg/g]	
Natrium	7,19 ± 0,005
Ammonium	2,21 ± 0,534
Kalium	36,9 ± 0,030
Magnesium	1,06 ± 0,046
Calcium	n.n.
Fluorid	5,73 ± 0,006
Chlorid	2,45 ± 0,012
Nitrit	n.n.
Sulfat	11,2 ± 0,041
Nitrat	n.n.
Bromid	2,74 ± 0,004
Phosphat	21,4 ± 0,138

n.n. = nicht nachweisbar; n.b. = nicht bestimmbar,
(relative Standardabweichung >50 %)

Spurenelemente		
[mg/kg]		
Ag	328,068 nm	n.n.
Al	396,152 nm	44,2 ± 0,642
As	189,042 nm	0,250 ± 0,003
B	249,773 nm	3,74 ± 0,031
Ba	455,403 nm	0,262 ± 0,020
Be	234,861 nm	n.n.
Bi	223,061 nm	n.n.
Ca	422,673 nm	2764,4 ± 40,14
Cd	214,438 nm	n.n.
Co	228,616 nm	1,41 ± 0,007
Cr	267,716 nm	0,468 ± 0,029
Cu	324,754 nm	8,29 ± 0,142
Fe	259,940 nm	132,6 ± 0,785
K	766,490 nm	32426,5 ± 408,5
Li	670,784 nm	0,229 ± 0,042
Mg	280,270 nm	1445,8 ± 16,83
Mn	293,930 nm	15,3 ± 0,113
Mo	202,030 nm	0,494 ± 0,004
Na	589,592 nm	7777,8 ± 102,6
Ni	231,604 nm	1,09 ± 0,009
P	177,495 nm	16850,3 ± 221,1
Pb	220,353 nm	n.n.
S	182,034 nm	10189,8 ± 151,3
Sb	217,581 nm	n.n.
Se	203,985 nm	n.n.
Sr	407,771 nm	26,3 ± 0,208
Ti	337,280 nm	0,491 ± 0,046
Tl	190,856 nm	n.n.
V	292,464 nm	1,06 ± 0,015
W	239,709 nm	0,152 ± 0,020
Zn	206,200 nm	214,1 ± 0,689

17. Lallemand FNI 410

Allgemeine Daten		
Trockenmasse	[%]	94,9
Gesamtstickstoff (TN)	[%]	5,85 ± 0,03
Aminostickstoff (AN)	[%]	1,54 ± 0,008
Hydrolysegrad (AN/TN)	[%]	26,3 ± 0,002
Aschegehalt	[%]	18,9

Aminosäuren	frei	gesamt
[g/100 g]		
Alanin	1,66 ± 0,005	1,88 ± 0,025
Asparagin	0,36 ± 0,017	n.n.
Asparaginsäure	0,70 ± 0,004	1,47 ± 0,068
Cystathionin	0,70 ± 0,005	1,16 ± 0,022
Glutaminsäure	4,70 ± 0,307	8,50 ± 0,321
Glycin	0,03 ± 0,003	0,94 ± 0,009
Histidin	0,36 ± 0,0004	n.n.
Isoleucin	n.n.	n.n.
Leucin	0,20 ± 0,002	0,49 ± 0,004
Lysin	0,28 ± 0,013	0,57 ± 0,050
Methionin	0,08 ± 0,002	0,21 ± 0,009
Phenylalanin	0,13 ± 0,006	0,35 ± 0,013
Prolin	0,59 ± 0,011	0,82 ± 0,007
Serin	0,41 ± 0,013	0,63 ± 0,026
Threonin	0,16 ± 0,003	0,32 ± 0,012
Tryptophan	0,30 ± 0,002	n.n.
Tyrosin	0,15 ± 0,002	0,24 ± 0,011
Valin	0,38 ± 0,007	0,63 ± 0,011

Fettsäuren	
[mg/g]	
Methyldecanoat (C10:0)	2,03 ± 0,097
Methylpalmitoleat (C16:1)	0,288 ± 0,001
Methylstearat (C18:0)	0,327 ± 0,053
Methylarachinoat (C20:0)	0,830 ± 0,089

Kohlenhydrate	
[mg/g]	
Gesamtgehalt	274,2 ± 4,534
Reduzierende Zucker	34,9 ± 0,209

Kohlenhydrate	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Rhamnose	n.n.	n.n.
Arabinose	0,69	2,47 ± 0,033
Galactose	0,30	6,11 ± 0,133
Glucose	3,39	n.n.
Saccharose	n.n.	n.n.
Xylose	n.n.	n.n.
Mannose	n.n.	24,8 ± 0,471
Fructose	n.n.	1,55 ± 0,158

Hemmstoffe	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Formiat	3,97	5,22 ± 0,077
Acetat	4,69	6,22 ± 0,171
Lävulinsäure	n.n.	1,04 ± 0,094
Hydroxymethylfurfural	n.n.	2,89 ± 0,038
Furfural	n.n.	0,84 ± 0,048

Vitamine		
Thiamin · HCl	[mg/100 g]	14,5 ± 0,174
Riboflavin	[mg/100 g]	4,47 ± 0,160
Nicotinsäure	[mg/100 g]	192,4 ± 1,499
Ca-Pantothenat	[mg/100 g]	52,9 ± 0,276
Pyridoxin · HCl	[mg/100 g]	9,12 ± 0,043
Biotin	[µg/100 g]	33,3 ± 1,207
Folsäure	[mg/100 g]	18,5 ± 1,502
Cobalamin	[µg/100 g]	7,82 ± 0,041
Inositol	[mg/100 g]	789,4 ± 159,1

Gesamtpolyphenole	
[mg/g]	
nach MEBAK	0,104 ± 0,039
nach Folin-Ciocalteu	6,69 ± 0,465
Flavonoide	0,607 ± 0,023

Lösliche Salze	
[mg/g]	
Natrium	6,19 ± 0,006
Ammonium	n.n.
Kalium	75,2 ± 0,220
Magnesium	2,20 ± 0,051
Calcium	n.n.
Fluorid	7,54 ± 0,017
Chlorid	3,85 ± 0,000
Nitrit	1,33 ± 0,008
Sulfat	21,7 ± 0,057
Nitrat	3,17 ± 0,007
Bromid	3,43 ± 0,010
Phosphat	27,5 ± 0,328

n.n. = nicht nachweisbar; n.b. = nicht bestimmbar,
(relative Standardabweichung >50 %)

Spurenelemente		
[mg/kg]		
Ag	328,068 nm	n.n.
Al	396,152 nm	36,8 ± 0,000
As	189,042 nm	0,167 ± 0,026
B	249,773 nm	4,09 ± 0,036
Ba	455,403 nm	0,162 ± 0,008
Be	234,861 nm	n.n.
Bi	223,061 nm	n.n.
Ca	422,673 nm	1653,5 ± 147,2
Cd	214,438 nm	0,119 ± 0,002
Co	228,616 nm	5,54 ± 0,079
Cr	267,716 nm	0,515 ± 0,002
Cu	324,754 nm	17,7 ± 0,096
Fe	259,940 nm	65,7 ± 0,696
K	766,490 nm	60944,5 ± 822,9
Li	670,784 nm	0,367 ± 0,024
Mg	280,270 nm	2441,4 ± 24,28
Mn	293,930 nm	15,4 ± 0,149
Mo	202,030 nm	0,200 ± 0,003
Na	589,592 nm	6479,5 ± 47,10
Ni	231,604 nm	0,876 ± 0,004
P	177,495 nm	18074,2 ± 198,16
Pb	220,353 nm	n.n.
S	182,034 nm	20811,1 ± 82,28
Sb	217,581 nm	n.n.
Se	203,985 nm	0,392 ± 0,185
Sr	407,771 nm	17,8 ± 1,117
Ti	337,280 nm	0,397 ± 0,075
Tl	190,856 nm	0,225 ± 0,009
V	292,464 nm	1,22 ± 0,054
W	239,709 nm	0,115 ± 0,008
Zn	206,200 nm	75,6 ± 0,296

18. Lallemand FNI 710

Allgemeine Daten		
Trockenmasse	[%]	93,3
Gesamtstickstoff (TN)	[%]	8,79 ± 0,04
Aminostickstoff (AN)	[%]	1,85 ± 0,03
Hydrolysegrad (AN/TN)	[%]	21,0 ± 0,25
Aschegehalt	[%]	12,6

Aminosäuren	frei	gesamt
[g/100 g]		
Alanin	1,29 ± 0,024	3,13 ± 0,069
Asparagin	0,33 ± 0,009	n.n.
Asparaginsäure	1,22 ± 0,029	5,74 ± 0,228
Cystathionin	n.n.	n.n.
Glutaminsäure	2,95 ± 0,300	7,52 ± 0,363
Glycin	0,08 ± 0,015	2,01 ± 0,013
Histidin	0,83 ± 0,011	0,71 ± 0,007
Isoleucin	0,31 ± 0,020	1,51 ± 0,030
Leucin	1,29 ± 0,005	2,75 ± 0,013
Lysin	1,30 ± 0,051	2,28 ± 0,039
Methionin	0,29 ± 0,012	0,54 ± 0,006
Phenylalanin	0,70 ± 0,014	1,57 ± 0,022
Prolin	0,26 ± 0,022	2,04 ± 0,021
Serin	0,54 ± 0,031	2,44 ± 0,030
Threonin	0,37 ± 0,019	2,13 ± 0,031
Tryptophan	0,69 ± 0,004	n.n.
Tyrosin	0,72 ± 0,091	0,92 ± 0,027
Valin	0,72 ± 0,002	2,49 ± 0,045

Fettsäuren	
[mg/g]	
Methyldecanoat (C10:0)	0,959 ± 0,008
Methylstearat (C18:0)	0,222 ± 0,029
Methylarachinoat (C20:0)	0,814 ± 0,025

Kohlenhydrate	
[mg/g]	
Gesamtgehalt	187,9 ± 8,608
Reduzierende Zucker	22,6 ± 0,000

Kohlenhydrate	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Rhamnose	n.n.	n.n.
Arabinose	0,76	1,76 ± 0,084
Galactose	0,12	1,02 ± 0,048
Glucose	2,66	103,5 ± 1,369
Saccharose	n.n.	n.n.
Xylose	n.n.	n.n.
Mannose	n.n.	52,4 ± 0,459
Fructose	n.n.	n.n.

Hemmstoffe	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Formiat	12,3	8,96 ± 0,112
Acetat	2,27	2,78 ± 0,304
Lävulinsäure	n.n.	0,53 ± 0,058
Hydroxymethylfurfural	n.n.	2,18 ± 0,005
Furfural	0,52	1,55 ± 0,027

Vitamine		
Thiamin · HCl	[mg/100 g]	9,69 ± 0,110
Riboflavin	[mg/100 g]	4,35 ± 0,109
Nicotinsäure	[mg/100 g]	109,2 ± 1,102
Ca-Pantothenat	[mg/100 g]	25,1 ± 0,466
Pyridoxin · HCl	[mg/100 g]	2,34 ± 0,149
Biotin	[µg/100 g]	66,3 ± 1,953
Folsäure	[mg/100 g]	n.b.
Cobalamin	[µg/100 g]	10,0 ± 0,037
Inositol	[mg/100 g]	458,4 ± 55,1

Gesamtpolyphenole	
[mg/g]	
nach MEBAK	0,262 ± 0,068
nach Folin-Ciocalteu	17,1 ± 0,881
Flavonoide	1,29 ± 0,033

Lösliche Salze	
[mg/g]	
Natrium	9,28 ± 0,025
Ammonium	12,1 ± 0,606
Kalium	38,6 ± 0,030
Magnesium	1,68 ± 0,060
Calcium	n.n.
Fluorid	6,93 ± 0,033
Chlorid	1,58 ± 0,008
Nitrit	n.n.
Sulfat	17,3 ± 0,062
Nitrat	n.n.
Bromid	2,18 ± 0,001
Phosphat	37,7 ± 0,039

n.n. = nicht nachweisbar; n.b. = nicht bestimmbar,
(relative Standardabweichung >50 %)

Spurenelemente		
[mg/kg]		
Ag	328,068 nm	n.n.
Al	396,152 nm	29,1 ± 0,335
As	189,042 nm	n.n.
B	249,773 nm	1,51 ± 0,029
Ba	455,403 nm	0,129 ± 0,012
Be	234,861 nm	n.n.
Bi	223,061 nm	n.n.
Ca	422,673 nm	1445,4 ± 8,223
Cd	214,438 nm	n.n.
Co	228,616 nm	1,66 ± 0,005
Cr	267,716 nm	0,785 ± 0,019
Cu	324,754 nm	4,12 ± 0,004
Fe	259,940 nm	9,94 ± 0,113
K	766,490 nm	33266,2 ± 569,8
Li	670,784 nm	n.n.
Mg	280,270 nm	2051,9 ± 6,558
Mn	293,930 nm	12,3 ± 0,041
Mo	202,030 nm	0,157 ± 0,002
Na	589,592 nm	9867,5 ± 43,56
Ni	231,604 nm	0,531 ± 0,003
P	177,495 nm	20174,0 ± 20,83
Pb	220,353 nm	n.n.
S	182,034 nm	10118,3 ± 23,57
Sb	217,581 nm	n.n.
Se	203,985 nm	n.n.
Sr	407,771 nm	20,8 ± 0,076
Ti	337,280 nm	0,617 ± 0,085
Tl	190,856 nm	n.n.
V	292,464 nm	1,07 ± 0,012
W	239,709 nm	n.n.
Zn	206,200 nm	93,4 ± 0,036

19. Lallemand FNI 800

Allgemeine Daten		
Trockenmasse	[%]	95,9
Gesamtstickstoff (TN)	[%]	9,85 ± 0,05
Aminostickstoff (AN)	[%]	2,18 ± 0,02
Hydrolysegrad (AN/TN)	[%]	22,1 ± 0,09
Aschegehalt	[%]	19,4

Aminosäuren	frei	gesamt
[g/100 g]		
Alanin	1,39 ± 0,041	3,52 ± 0,014
Asparagin	0,41 ± 0,047	n.n.
Asparaginsäure	0,73 ± 0,058	6,08 ± 0,185
Cystathionin	n.n.	n.n.
Glutaminsäure	4,67 ± 0,825	8,44 ± 0,199
Glycin	0,18 ± 0,008	2,60 ± 0,002
Histidin	0,98 ± 0,007	0,83 ± 0,021
Isoleucin	0,32 ± 0,004	1,97 ± 0,016
Leucin	1,50 ± 0,023	3,43 ± 0,020
Lysin	1,50 ± 0,030	2,96 ± 0,043
Methionin	0,35 ± 0,006	0,60 ± 0,006
Phenylalanin	0,81 ± 0,034	2,04 ± 0,002
Prolin	0,17 ± 0,012	2,41 ± 0,021
Serin	0,50 ± 0,014	2,67 ± 0,005
Threonin	0,51 ± 0,011	2,48 ± 0,011
Tryptophan	0,74 ± 0,009	n.n.
Tyrosin	0,80 ± 0,048	1,22 ± 0,009
Valin	0,75 ± 0,015	3,05 ± 0,013

Fettsäuren	
[mg/g]	
Methyldecanoat (C10:0)	0,858 ± 0,015
Methylpalmitoleat (C16:1)	0,330 ± 0,006
Methylstearat (C18:0)	0,293 ± 0,051
Methylarachinoat (C20:0)	0,946 ± 0,014

Kohlenhydrate	
[mg/g]	
Gesamtgehalt	73,4 ± 2,665
Reduzierende Zucker	23,3 ± 0,417

Kohlenhydrate	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Rhamnose	n.n.	n.n.
Arabinose	0,71	1,52 ± 0,016
Galactose	0,097	0,57 ± 0,040
Glucose	3,19	22,9 ± 1,174
Saccharose	n.n.	n.n.
Xylose	n.n.	n.n.
Mannose	n.n.	38,6 ± 0,046
Fructose	n.n.	n.n.

Hemmstoffe	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Formiat	16,1	9,39 ± 0,265
Acetat	2,16	3,32 ± 0,052
Lävulinsäure	n.n.	0,12 ± 0,047
Hydroxymethylfurfural	n.n.	1,53 ± 0,240
Furfural	1,14	1,60 ± 0,453

Vitamine		
Thiamin · HCl	[mg/100 g]	6,74 ± 1,740
Riboflavin	[mg/100 g]	4,35 ± 0,000
Nicotinsäure	[mg/100 g]	89,7 ± 3,798
Ca-Pantothenat	[mg/100 g]	24,5 ± 0,259
Pyridoxin · HCl	[mg/100 g]	n.b.
Biotin	[µg/100 g]	102,2 ± 1,261
Folsäure	[mg/100 g]	4,66 ± 0,068
Cobalamin	[µg/100 g]	29,6 ± 0,086
Inositol	[mg/100 g]	515,7 ± 159,0

Gesamtpolyphenole	
[mg/g]	
nach MEBAK	0,637 ± 0,048
nach Folin-Ciocalteu	18,5 ± 0,853
Flavonoide	0,751 ± 0,021

Lösliche Salze	
[mg/g]	
Natrium	36,3 ± 0,030
Ammonium	5,87 ± 0,030
Kalium	40,2 ± 0,005
Magnesium	1,81 ± 0,038
Calcium	n.n.
Fluorid	9,38 ± 0,095
Chlorid	1,74 ± 0,013
Nitrit	n.n.
Sulfat	49,2 ± 0,056
Nitrat	n.n.
Bromid	2,22 ± 0,007
Phosphat	27,3 ± 0,099

n.n. = nicht nachweisbar; n.b. = nicht bestimmbar,
(relative Standardabweichung >50 %)

Spurenelemente		
[mg/kg]		
Ag	328,068 nm	n.n.
Al	396,152 nm	21,8 ± 1,491
As	189,042 nm	n.n.
B	249,773 nm	1,77 ± 0,081
Ba	455,403 nm	n.b.
Be	234,861 nm	n.n.
Bi	223,061 nm	n.n.
Ca	422,673 nm	1877,1 ± 7,562
Cd	214,438 nm	n.n.
Co	228,616 nm	2,19 ± 0,002
Cr	267,716 nm	0,528 ± 0,170
Cu	324,754 nm	2,02 ± 0,255
Fe	259,940 nm	31,5 ± 2,200
K	766,490 nm	39722,1 ± 7318,1
Li	670,784 nm	n.n.
Mg	280,270 nm	2053,0 ± 71,70
Mn	293,930 nm	8,07 ± 0,060
Mo	202,030 nm	0,146 ± 0,033
Na	589,592 nm	39550,3 ± 2156,6
Ni	231,604 nm	0,472 ± 0,038
P	177,495 nm	17861,6 ± 4714,9
Pb	220,353 nm	n.n.
S	182,034 nm	20520,9 ± 2277,3
Sb	217,581 nm	n.n.
Se	203,985 nm	n.n.
Sr	407,771 nm	20,6 ± 0,273
Ti	337,280 nm	0,378 ± 0,047
Tl	190,856 nm	n.n.
V	292,464 nm	1,29 ± 0,257
W	239,709 nm	n.n.
Zn	206,200 nm	86,0 ± 6,467

20. Leiber Fermentation S

Allgemeine Daten		
Trockenmasse	[%]	92,3
Gesamtstickstoff (TN)	[%]	10,3 ± 0,06
Aminostickstoff (AN)	[%]	3,47 ± 0,03
Hydrolysegrad (AN/TN)	[%]	33,6 ± 0,10
Aschegehalt	[%]	10,5

Aminosäuren	frei	gesamt
[g/100 g]		
Alanin	3,22 ± 0,053	3,81 ± 0,013
Asparagin	1,42 ± 0,017	n.n.
Asparaginsäure	1,89 ± 0,025	5,69 ± 0,052
Cystathionin	1,18 ± 0,010	n.n.
Glutaminsäure	3,99 ± 0,149	7,15 ± 0,297
Glycin	1,27 ± 0,002	2,67 ± 0,022
Histidin	1,19 ± 0,018	0,63 ± 0,029
Isoleucin	1,71 ± 0,019	2,37 ± 0,029
Leucin	3,27 ± 0,018	3,94 ± 0,005
Lysin	1,87 ± 0,031	2,05 ± 0,119
Methionin	0,71 ± 0,005	0,80 ± 0,032
Phenylalanin	2,06 ± 0,018	2,44 ± 0,040
Prolin	2,25 ± 0,001	3,51 ± 0,019
Serin	2,62 ± 0,014	3,10 ± 0,199
Threonin	1,46 ± 0,018	2,43 ± 0,131
Tryptophan	1,08 ± 0,003	n.n.
Tyrosin	1,86 ± 0,008	1,18 ± 0,070
Valin	2,47 ± 0,001	3,56 ± 0,012

Fettsäuren	
[mg/g]	
Methyldecanoat (C10:0)	1,71 ± 0,137
Methylstearat (C18:0)	0,194 ± 0,019

Kohlenhydrate	
[mg/g]	
Gesamtgehalt	133,4 ± 1,637
Reduzierende Zucker	63,1 ± 2,399

Kohlenhydrate	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Rhamnose	n.n.	n.n.
Arabinose	0,84	4,00 ± 0,074
Galactose	n.n.	n.n.
Glucose	2,74	82,3 ± 0,199
Saccharose	n.n.	n.n.
Xylose	n.n.	1,13 ± 0,038
Mannose	n.n.	25,3 ± 0,999
Fructose	n.n.	n.n.

Hemmstoffe	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Formiat	33,9	8,25 ± 0,150
Acetat	6,16	4,77 ± 0,002
Lävulinsäure	0,12	3,42 ± 0,015
Hydroxymethylfurfural	n.n.	2,89 ± 0,027
Furfural	n.n.	1,93 ± 0,012

Vitamine		
Thiamin · HCl	[mg/100 g]	Max.
Riboflavin	[mg/100 g]	3,97 ± 0,008
Nicotinsäure	[mg/100 g]	136,4 ± 2,283
Ca-Pantothenat	[mg/100 g]	13,6 ± 1,470
Pyridoxin · HCl	[mg/100 g]	11,8 ± 0,188
Biotin	[µg/100 g]	181,3 ± 51,2
Folsäure	[mg/100 g]	2,72 ± 0,028
Cobalamin	[µg/100 g]	9,32 ± 0,648
Inositol	[mg/100 g]	822,8 ± 240,3

Gesamtpolyphenole	
[mg/g]	
nach MEBAK	5,62 ± 0,207
nach Folin-Ciocalteu	27,1 ± 0,666
Flavonoide	0,796 ± 0,003

Lösliche Salze	
[mg/g]	
Natrium	0,905 ± 0,007
Ammonium	n.n.
Kalium	30,8 ± 0,090
Magnesium	2,06 ± 0,085
Calcium	n.n.
Fluorid	4,81 ± 0,006
Chlorid	2,37 ± 0,040
Nitrit	n.n.
Sulfat	2,17 ± 0,001
Nitrat	n.n.
Bromid	2,16 ± 0,001
Phosphat	40,3 ± 0,018

n.n. = nicht nachweisbar; n.b. = nicht bestimmbar,
(relative Standardabweichung >50 %)

Spurenelemente		
[mg/kg]		
Ag	328,068 nm	n.n.
Al	396,152 nm	1,15 ± 0,207
As	189,042 nm	n.n.
B	249,773 nm	0,830 ± 0,074
Ba	455,403 nm	0,595 ± 0,001
Be	234,861 nm	n.n.
Bi	223,061 nm	n.n.
Ca	422,673 nm	825,2 ± 0,297
Cd	214,438 nm	n.n.
Co	228,616 nm	n.n.
Cr	267,716 nm	0,923 ± 0,055
Cu	324,754 nm	4,63 ± 0,159
Fe	259,940 nm	35,3 ± 0,121
K	766,490 nm	31295,7 ± 112,0
Li	670,784 nm	n.n.
Mg	280,270 nm	3034,9 ± 11,54
Mn	293,930 nm	7,55 ± 0,020
Mo	202,030 nm	0,663 ± 0,010
Na	589,592 nm	727,5 ± 14,26
Ni	231,604 nm	0,853 ± 0,018
P	177,495 nm	24569,2 ± 13,69
Pb	220,353 nm	n.n.
S	182,034 nm	5831,4 ± 148,8
Sb	217,581 nm	n.n.
Se	203,985 nm	n.n.
Sr	407,771 nm	2,28 ± 0,006
Ti	337,280 nm	0,759 ± 0,027
Tl	190,856 nm	n.n.
V	292,464 nm	1,26 ± 0,019
W	239,709 nm	0,162 ± 0,051
Zn	206,200 nm	38,3 ± 0,139

21. Leiber Fermentation E

Allgemeine Daten		
Trockenmasse	[%]	92,3
Gesamtstickstoff (TN)	[%]	10,4 ± 0,04
Aminostickstoff (AN)	[%]	3,44 ± 0,11
Hydrolysegrad (AN/TN)	[%]	33,1 ± 0,93
Aschegehalt	[%]	10,2

Aminosäuren	frei	gesamt
[g/100 g]		
Alanin	3,43 ± 0,093	4,06 ± 0,062
Asparagin	1,41 ± 0,063	n.n.
Asparaginsäure	1,88 ± 0,080	5,71 ± 0,211
Cystathionin	1,19 ± 0,006	n.n.
Glutaminsäure	2,80 ± 0,107	5,95 ± 0,270
Glycin	1,22 ± 0,038	2,69 ± 0,041
Histidin	1,10 ± 0,012	0,72 ± 0,030
Isoleucin	1,60 ± 0,035	2,37 ± 0,038
Leucin	3,33 ± 0,065	4,08 ± 0,042
Lysin	1,83 ± 0,042	2,25 ± 0,128
Methionin	0,68 ± 0,011	0,88 ± 0,014
Phenylalanin	1,99 ± 0,016	2,34 ± 0,052
Prolin	1,78 ± 0,050	3,14 ± 0,045
Serin	3,21 ± 0,047	3,34 ± 0,165
Threonin	1,40 ± 0,079	2,36 ± 0,039
Tryptophan	1,05 ± 0,015	n.n.
Tyrosin	1,81 ± 0,0004	1,26 ± 0,030
Valin	2,43 ± 0,062	3,68 ± 0,071

Fettsäuren	
[mg/g]	
Methyldecanoat (C10:0)	1,77 ± 0,071
Methylstearat (C18:0)	0,079 ± 0,014

Kohlenhydrate	
[mg/g]	
Gesamtgehalt	107,4 ± 2,514
Reduzierende Zucker	50,7 ± 1,773

Kohlenhydrate	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Rhamnose	n.n.	n.n.
Arabinose	0,81	3,24 ± 0,044
Galactose	n.n.	n.n.
Glucose	2,60	64,4 ± 0,950
Saccharose	n.n.	n.n.
Xylose	n.n.	n.n.
Mannose	n.n.	25,8 ± 0,373
Fructose	n.n.	n.n.

Hemmstoffe	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Formiat	34,2	8,40 ± 0,112
Acetat	6,64	5,29 ± 0,774
Lävulinsäure	n.n.	2,56 ± 0,008
Hydroxymethylfurfural	n.n.	2,31 ± 0,044
Furfural	n.n.	2,02 ± 0,132

Vitamine		
Thiamin · HCl	[mg/100 g]	Max.
Riboflavin	[mg/100 g]	3,95 ± 0,099
Nicotinsäure	[mg/100 g]	123,8 ± 1,697
Ca-Pantothenat	[mg/100 g]	14,4 ± 0,304
Pyridoxin · HCl	[mg/100 g]	11,8 ± 0,320
Biotin	[µg/100 g]	213,7 ± 3,437
Folsäure	[mg/100 g]	2,26 ± 0,095
Cobalamin	[µg/100 g]	8,91 ± 0,310
Inositol	[mg/100 g]	779,4 ± 371,8

Gesamtpolyphenole	
[mg/g]	
nach MEBAK	3,98 ± 0,149
nach Folin-Ciocalteu	26,2 ± 0,659
Flavonoide	0,701 ± 0,003

Lösliche Salze	
[mg/g]	
Natrium	1,38 ± 0,001
Ammonium	n.n.
Kalium	33,4 ± 0,190
Magnesium	1,98 ± 0,026
Calcium	n.n.
Fluorid	4,74 ± 0,006
Chlorid	2,69 ± 0,011
Nitrit	1,12 ± 0,018
Sulfat	2,02 ± 0,001
Nitrat	n.n.
Bromid	2,97 ± 0,001
Phosphat	39,2 ± 0,023

n.n. = nicht nachweisbar; n.b. = nicht bestimmbar,
(relative Standardabweichung >50 %)

Spurenelemente		
[mg/kg]		
Ag	328,068 nm	n.n.
Al	396,152 nm	10,8 ± 0,797
As	189,042 nm	n.n.
B	249,773 nm	0,790 ± 0,029
Ba	455,403 nm	1,02 ± 0,019
Be	234,861 nm	n.n.
Bi	223,061 nm	n.n.
Ca	422,673 nm	943,3 ± 13,63
Cd	214,438 nm	n.n.
Co	228,616 nm	n.n.
Cr	267,716 nm	1,05 ± 0,093
Cu	324,754 nm	4,37 ± 0,091
Fe	259,940 nm	36,0 ± 0,429
K	766,490 nm	33285,9 ± 308,5
Li	670,784 nm	n.n.
Mg	280,270 nm	2889,4 ± 1,614
Mn	293,930 nm	9,12 ± 0,063
Mo	202,030 nm	0,627 ± 0,029
Na	589,592 nm	1247,0 ± 1,501
Ni	231,604 nm	1,19 ± 0,007
P	177,495 nm	23757,4 ± 72,04
Pb	220,353 nm	n.n.
S	182,034 nm	5713,8 ± 42,71
Sb	217,581 nm	n.n.
Se	203,985 nm	n.n.
Sr	407,771 nm	2,96 ± 0,070
Ti	337,280 nm	0,646 ± 0,074
Tl	190,856 nm	n.n.
V	292,464 nm	1,23 ± 0,000
W	239,709 nm	n.b.
Zn	206,200 nm	44,9 ± 0,786

22. Leiber Fermentation H

Allgemeine Daten		
Trockenmasse	[%]	93,1
Gesamtstickstoff (TN)	[%]	11,2 ± 0,13
Aminostickstoff (AN)	[%]	4,29 ± 0,04
Hydrolysegrad (AN/TN)	[%]	38,2 ± 0,09
Aschegehalt	[%]	10,3

Aminosäuren	frei	gesamt
[g/100 g]		
Alanin	3,72 ± 0,041	4,19 ± 0,130
Asparagin	1,41 ± 0,021	n.n.
Asparaginsäure	2,89 ± 0,005	6,46 ± 0,075
Cystathionin	n.n.	n.n.
Glutaminsäure	3,17 ± 0,095	6,28 ± 0,094
Glycin	1,64 ± 0,026	3,02 ± 0,028
Histidin	1,48 ± 0,001	0,93 ± 0,051
Isoleucin	2,22 ± 0,014	2,70 ± 0,023
Leucin	3,98 ± 0,043	4,48 ± 0,042
Lysin	2,67 ± 0,001	3,03 ± 0,188
Methionin	0,82 ± 0,028	1,01 ± 0,012
Phenylalanin	2,38 ± 0,028	2,76 ± 0,154
Prolin	2,27 ± 0,019	3,16 ± 0,012
Serin	3,53 ± 0,056	3,93 ± 0,227
Threonin	2,08 ± 0,053	2,86 ± 0,139
Tryptophan	1,17 ± 0,017	n.n.
Tyrosin	2,32 ± 0,030	1,73 ± 0,121
Valin	3,19 ± 0,028	4,05 ± 0,030

Fettsäuren	
[mg/g]	
Methyldecanoat (C10:0)	3,44 ± 0,049
Methylstearat (C18:0)	0,167 ± 0,064

Kohlenhydrate	
[mg/g]	
Gesamtgehalt	78,3 ± 0,463
Reduzierende Zucker	32,6 ± 0,417

Kohlenhydrate	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Rhamnose	n.n.	n.n.
Arabinose	0,79	2,42 ± 0,015
Galactose	n.n.	n.n.
Glucose	2,63	36,6 ± 2,340
Saccharose	n.n.	n.n.
Xylose	n.n.	n.n.
Mannose	n.n.	31,2 ± 0,163
Fructose	n.n.	n.n.

Hemmstoffe	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Formiat	33,3	n.b.
Acetat	7,47	6,25 ± 0,615
Lävulinsäure	n.n.	n.b.
Hydroxymethylfurfural	n.n.	1,24 ± 0,129
Furfural	0,20	2,07 ± 0,064

Vitamine		
Thiamin · HCl	[mg/100 g]	Max.
Riboflavin	[mg/100 g]	3,29 ± 0,064
Nicotinsäure	[mg/100 g]	101,6 ± 0,453
Ca-Pantothenat	[mg/100 g]	18,6 ± 0,102
Pyridoxin · HCl	[mg/100 g]	10,2 ± 0,020
Biotin	[µg/100 g]	166,4 ± 33,9
Folsäure	[mg/100 g]	2,64 ± 0,029
Cobalamin	[µg/100 g]	9,11 ± 0,192
Inositol	[mg/100 g]	n.b.

Gesamtpolyphenole	
[mg/g]	
nach MEBAK	1,96 ± 0,040
nach Folin-Ciocalteu	28,5 ± 0,335
Flavonoide	0,612 ± 0,025

Lösliche Salze	
[mg/g]	
Natrium	3,08 ± 0,018
Ammonium	2,21 ± 0,031
Kalium	27,7 ± 0,093
Magnesium	2,89 ± 0,044
Calcium	n.n.
Fluorid	5,98 ± 0,012
Chlorid	1,92 ± 0,049
Nitrit	n.n.
Sulfat	2,13 ± 0,010
Nitrat	n.n.
Bromid	2,50 ± 0,006
Phosphat	48,8 ± 0,243

n.n. = nicht nachweisbar; n.b. = nicht bestimmbar,
(relative Standardabweichung >50 %)

Spurenelemente		
[mg/kg]		
Ag	328,068 nm	n.n.
Al	396,152 nm	2,71 ± 0,001
As	189,042 nm	0,133 ± 0,036
B	249,773 nm	1,28 ± 0,009
Ba	455,403 nm	0,643 ± 0,010
Be	234,861 nm	n.n.
Bi	223,061 nm	n.n.
Ca	422,673 nm	1260,8 ± 1,159
Cd	214,438 nm	n.n.
Co	228,616 nm	n.n.
Cr	267,716 nm	1,10 ± 0,068
Cu	324,754 nm	4,07 ± 0,045
Fe	259,940 nm	29,9 ± 0,051
K	766,490 nm	24748,1 ± 38,26
Li	670,784 nm	n.n.
Mg	280,270 nm	3490,6 ± 30,68
Mn	293,930 nm	6,91 ± 0,031
Mo	202,030 nm	0,619 ± 0,014
Na	589,592 nm	3050,7 ± 30,78
Ni	231,604 nm	1,23 ± 0,038
P	177,495 nm	23411,9 ± 49,63
Pb	220,353 nm	n.n.
S	182,034 nm	5920,6 ± 3,100
Sb	217,581 nm	n.n.
Se	203,985 nm	n.n.
Sr	407,771 nm	3,98 ± 0,019
Ti	337,280 nm	0,516 ± 0,196
Tl	190,856 nm	n.n.
V	292,464 nm	1,53 ± 0,028
W	239,709 nm	0,146 ± 0,032
Zn	206,200 nm	56,1 ± 0,245

23. HiMedia Hefeextrakt

Allgemeine Daten		
Trockenmasse	[%]	95,0
Gesamtstickstoff (TN)	[%]	11,5 ± 0,15
Aminostickstoff (AN)	[%]	4,26 ± 0,02
Hydrolysegrad (AN/TN)	[%]	37,1 ± 0,31
Aschegehalt	[%]	19,3

Aminosäuren	frei	gesamt
[g/100 g]		
Alanin	4,32 ± 0,037	4,31 ± 0,083
Asparagin	1,71 ± 0,026	n.n.
Asparaginsäure	2,49 ± 0,054	7,30 ± 0,022
Cystathionin	0,64 ± 0,020	1,11 ± 0,018
Glutaminsäure	6,96 ± 0,390	9,73 ± 0,341
Glycin	1,52 ± 0,024	2,75 ± 0,028
Histidin	1,00 ± 0,006	1,76 ± 0,020
Isoleucin	2,36 ± 0,034	2,87 ± 0,033
Leucin	4,09 ± 0,011	4,69 ± 0,036
Lysin	1,96 ± 0,085	3,94 ± 0,269
Methionin	0,91 ± 0,015	0,89 ± 0,031
Phenylalanin	2,39 ± 0,038	2,77 ± 0,044
Prolin	1,34 ± 0,015	2,86 ± 0,032
Serin	2,63 ± 0,049	3,49 ± 0,102
Threonin	2,19 ± 0,020	3,38 ± 0,051
Tryptophan	0,89 ± 0,007	n.n.
Tyrosin	0,86 ± 0,009	1,18 ± 0,008
Valin	3,17 ± 0,035	3,94 ± 0,026

Fettsäuren	
[mg/g]	
Methyldecanoat (C10:0)	1,65 ± 0,096
Methylstearat (C18:0)	0,189 ± 0,029

Kohlenhydrate	
[mg/g]	
Gesamtgehalt	37,8 ± 0,364
Reduzierende Zucker	20,7 ± 0,115

Kohlenhydrate	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Rhamnose	n.n.	n.n.
Arabinose	0,82	3,78 ± 0,018
Galactose	0,022	0,81 ± 0,024
Glucose	3,31	6,65 ± 0,080
Saccharose	n.n.	n.n.
Xylose	n.n.	n.n.
Mannose	0,96	32,9 ± 1,092
Fructose	n.n.	n.n.

Hemmstoffe	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Formiat	10,5	2,99 ± 0,206
Acetat	6,50	6,54 ± 0,064
Lävulinsäure	n.n.	3,76 ± 0,037
Hydroxymethylfurfural	n.n.	1,26 ± 0,192
Furfural	0,39	3,07 ± 0,129

Vitamine		
Thiamin · HCl	[mg/100 g]	Max.
Riboflavin	[mg/100 g]	7,10 ± 0,000
Nicotinsäure	[mg/100 g]	180,9 ± 4,390
Ca-Pantothenat	[mg/100 g]	78,1 ± 4,770
Pyridoxin · HCl	[mg/100 g]	16,2 ± 0,174
Biotin	[µg/100 g]	601,8 ± 233,3
Folsäure	[mg/100 g]	3,24 ± 0,057
Cobalamin	[µg/100 g]	11,3 ± 0,352
Inositol	[mg/100 g]	n.b.

Gesamtpolyphenole	
[mg/g]	
nach MEBAK	n.n.
nach Folin-Ciocalteu	16,4 ± 1,480
Flavonoide	0,677 ± 0,005

Lösliche Salze	
[mg/g]	
Natrium	1,06 ± 0,010
Ammonium	n.n.
Kalium	64,0 ± 0,176
Magnesium	0,136 ± 0,043
Calcium	n.n.
Fluorid	4,49 ± 0,012
Chlorid	2,53 ± 0,002
Nitrit	n.n.
Sulfat	7,94 ± 0,009
Nitrat	n.n.
Bromid	2,29 ± 0,011
Phosphat	20,8 ± 0,030

n.n. = nicht nachweisbar; n.b. = nicht bestimmbar,
(relative Standardabweichung >50 %)

Spurenelemente		
[mg/kg]		
Ag	328,068 nm	n.n.
Al	396,152 nm	n.n.
As	189,042 nm	n.n.
B	249,773 nm	3,11 ± 0,054
Ba	455,403 nm	n.n.
Be	234,861 nm	n.n.
Bi	223,061 nm	n.n.
Ca	422,673 nm	226,0 ± 0,641
Cd	214,438 nm	n.n.
Co	228,616 nm	1,96 ± 0,015
Cr	267,716 nm	0,368 ± 0,039
Cu	324,754 nm	0,303 ± 0,029
Fe	259,940 nm	50,4 ± 0,076
K	766,490 nm	67212,0 ± 445,2
Li	670,784 nm	0,306 ± 0,073
Mg	280,270 nm	859,2 ± 3,605
Mn	293,930 nm	1,47 ± 0,014
Mo	202,030 nm	n.n.
Na	589,592 nm	1024,3 ± 51,27
Ni	231,604 nm	0,207 ± 0,003
P	177,495 nm	11368,2 ± 21,57
Pb	220,353 nm	n.n.
S	182,034 nm	7270,6 ± 27,92
Sb	217,581 nm	n.n.
Se	203,985 nm	n.n.
Sr	407,771 nm	3,12 ± 0,001
Ti	337,280 nm	0,431 ± 0,057
Tl	190,856 nm	n.n.
V	292,464 nm	0,846 ± 0,032
W	239,709 nm	n.n.
Zn	206,200 nm	120,4 ± 1,373

24. Organotechnie Hefeextrakt

Allgemeine Daten		
Trockenmasse	[%]	92,2
Gesamtstickstoff (TN)	[%]	11,0 ± 0,06
Aminostickstoff (AN)	[%]	3,93 ± 0,03
Hydrolysegrad (AN/TN)	[%]	35,7 ± 0,08
Aschegehalt	[%]	13,8

Aminosäuren	frei	gesamt
[g/100 g]		
Alanin	3,54 ± 0,061	4,01 ± 0,036
Asparagin	1,61 ± 0,037	n.n.
Asparaginsäure	2,61 ± 0,080	8,02 ± 0,149
Cystathionin	n.n.	n.n.
Glutaminsäure	7,49 ± 0,868	10,9 ± 0,331
Glycin	1,27 ± 0,029	2,81 ± 0,045
Histidin	0,91 ± 0,071	2,16 ± 0,035
Isoleucin	2,26 ± 0,085	3,06 ± 0,022
Leucin	4,00 ± 0,057	5,05 ± 0,058
Lysin	1,91 ± 0,074	5,17 ± 0,317
Methionin	0,77 ± 0,012	1,04 ± 0,019
Phenylalanin	2,33 ± 0,044	2,98 ± 0,066
Prolin	1,28 ± 0,034	2,92 ± 0,042
Serin	2,69 ± 0,056	3,88 ± 0,004
Threonin	2,14 ± 0,016	3,64 ± 0,030
Tryptophan	0,86 ± 0,029	n.n.
Tyrosin	0,66 ± 0,024	1,13 ± 0,023
Valin	2,90 ± 0,056	4,09 ± 0,023

Fettsäuren	
[mg/g]	
Methyldecanoat (C10:0)	2,55 ± 0,056
Methylstearat (C18:0)	0,208 ± 0,022

Kohlenhydrate	
[mg/g]	
Gesamtgehalt	87,0 ± 1,554
Reduzierende Zucker	28,6 ± 0,057

Kohlenhydrate	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Rhamnose	n.n.	n.n.
Arabinose	0,79	3,78 ± 0,014
Galactose	n.n.	0,55 ± 0,035
Glucose	5,98	49,5 ± 0,138
Saccharose	n.n.	n.n.
Xylose	n.n.	n.n.
Mannose	0,98	13,6 ± 0,060
Fructose	n.n.	n.n.

Hemmstoffe	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Formiat	9,30	3,21 ± 0,166
Acetat	6,71	4,93 ± 0,328
Lävulinsäure	n.n.	5,10 ± 0,091
Hydroxymethylfurfural	n.n.	2,10 ± 0,100
Furfural	0,26	1,77 ± 0,141

Vitamine		
Thiamin · HCl	[mg/100 g]	Max.
Riboflavin	[mg/100 g]	8,46 ± 0,063
Nicotinsäure	[mg/100 g]	113,8 ± 2,612
Ca-Pantothenat	[mg/100 g]	Max.
Pyridoxin · HCl	[mg/100 g]	13,8 ± 0,053
Biotin	[µg/100 g]	Max.
Folsäure	[mg/100 g]	5,51 ± 0,033
Cobalamin	[µg/100 g]	10,5 ± 0,000
Inositol	[mg/100 g]	613,2 ± 290,8

Gesamtpolyphenole	
[mg/g]	
nach MEBAK	n.n.
nach Folin-Ciocalteu	18,7 ± 0,244
Flavonoide	0,104 ± 0,005

Lösliche Salze	
[mg/g]	
Natrium	1,42 ± 0,013
Ammonium	24,7 ± 0,427
Kalium	55,8 ± 0,285
Magnesium	n.n.
Calcium	n.n.
Fluorid	4,56 ± 0,030
Chlorid	1,56 ± 0,019
Nitrit	2,53 ± 0,003
Sulfat	6,89 ± 0,017
Nitrat	n.n.
Bromid	2,15 ± 0,003
Phosphat	22,5 ± 0,192

n.n. = nicht nachweisbar; n.b. = nicht bestimmbar,
(relative Standardabweichung >50 %)

Spurenelemente		
[mg/kg]		
Ag	328,068 nm	n.n.
Al	396,152 nm	n.n.
As	189,042 nm	n.n.
B	249,773 nm	2,41 ± 0,105
Ba	455,403 nm	n.n.
Be	234,861 nm	n.n.
Bi	223,061 nm	n.n.
Ca	422,673 nm	345,6 ± 13,11
Cd	214,438 nm	n.n.
Co	228,616 nm	1,27 ± 0,024
Cr	267,716 nm	0,393 ± 0,043
Cu	324,754 nm	1,26 ± 0,038
Fe	259,940 nm	47,7 ± 1,993
K	766,490 nm	59908,7 ± 64,26
Li	670,784 nm	0,113 ± 0,023
Mg	280,270 nm	254,5 ± 7,932
Mn	293,930 nm	1,21 ± 0,049
Mo	202,030 nm	n.n.
Na	589,592 nm	1280,6 ± 102,9
Ni	231,604 nm	0,299 ± 0,026
P	177,495 nm	10967,2 ± 1401,6
Pb	220,353 nm	0,113 ± 0,016
S	182,034 nm	6757,0 ± 281,1
Sb	217,581 nm	n.n.
Se	203,985 nm	n.n.
Sr	407,771 nm	4,48 ± 0,046
Ti	337,280 nm	0,296 ± 0,036
Tl	190,856 nm	n.n.
V	292,464 nm	n.n.
W	239,709 nm	n.n.
Zn	206,200 nm	88,1 ± 0,074

A.11 Analysendatenblätter der kommerziell erhältlichen Hefeextraktersatzstoffe

25. Fleischextrakt

Allgemeine Daten		
Trockenmasse	[%]	94,1
Gesamtstickstoff (TN)	[%]	12,5 ± 0,01
Aminostickstoff (AN)	[%]	2,85 ± 0,01
Hydrolysegrad (AN/TN)	[%]	22,8 ± 0,06
Aschegehalt	[%]	10,6

Aminosäuren [g/100g]	frei	gesamt
Alanin	1,91 ± 0,012	3,89 ± 0,058
Asparagin	0,77 ± 0,016	n.n.
Asparaginsäure	1,05 ± 0,045	7,65 ± 0,182
Cystathionin	n.n.	n.n.
Glutaminsäure	3,37 ± 0,232	14,1 ± 0,624
Glycin	0,63 ± 0,004	4,35 ± 0,072
Histidin	0,74 ± 0,031	2,57 ± 0,012
Isoleucin	1,26 ± 0,028	3,28 ± 0,054
Leucin	3,64 ± 0,020	6,21 ± 0,032
Lysin	2,82 ± 0,102	5,82 ± 0,257
Methionin	0,69 ± 0,007	1,62 ± 0,058
Phenylalanin	2,07 ± 0,009	3,51 ± 0,029
Prolin	0,54 ± 0,005	7,76 ± 0,039
Serin	1,39 ± 0,023	4,44 ± 0,060
Threonin	1,14 ± 0,024	3,68 ± 0,016
Tryptophan	0,83 ± 0,025	n.n.
Tyrosin	0,85 ± 0,020	1,79 ± 0,008
Valin	1,80 ± 0,032	4,71 ± 0,039

Fettsäuren [mg/g]	
Methyldecanoat (C10:0)	1,04 ± 0,054
Methylstearat (C18:0)	0,073 ± 0,023

Kohlenhydrate [mg/g]	
Gesamtgehalt	37,3 ± 1,237
Reduzierende Zucker	15,4 ± 0,745

Kohlenhydrate [mg/g]	frei	Aufschluss nach NREL
Rhamnose	n.n.	n.n.
Arabinose	0,76	3,59 ± 0,025
Galactose	n.n.	1,19 ± 0,027
Glucose	2,91	21,2 ± 0,628
Saccharose	n.n.	n.n.
Xylose	n.n.	n.n.
Mannose	n.n.	7,72 ± 0,040
Fructose	n.n.	n.n.

Hemmstoffe [mg/g]	frei	Aufschluss nach NREL
Formiat	6,24	1,62
Acetat	6,80	3,14
Lävulinsäure	0,39	2,18
Hydroxymethylfurfural	n.n.	0,64
Furfural	1,19	0,93

Vitamine		
Thiamin · HCl	[mg/100 g]	6,77 ± 0,286
Riboflavin	[mg/100 g]	4,26 ± 0,017
Nicotinsäure	[mg/100 g]	89,2 ± 0,238
Ca-Pantothenat	[mg/100 g]	30,2 ± 0,814
Pyridoxin · HCl	[mg/100 g]	7,28 ± 0,073
Biotin	[µg/100 g]	310,0 ± 0,846
Folsäure	[mg/100 g]	1,72 ± 0,074
Cobalamin	[µg/100 g]	10,2 ± 0,293
Inositol	[mg/100 g]	n.b.

Gesamtpolyphenole	
[mg/g]	
nach MEBAK	n.n.
nach Folin-Ciocalteu	19,6 ± 0,488
Flavonoide	0,076 ± 0,003

Lösliche Salze	
[mg/g]	
Natrium	17,9 ± 0,016
Ammonium	37,2 ± 8,757
Kalium	28,8 ± 0,045
Magnesium	n.n.
Calcium	n.n.
Fluorid	3,86 ± 0,252
Chlorid	9,27 ± 0,022
Nitrit	2,76 ± 0,222
Sulfat	5,71 ± 0,375
Nitrat	2,92 ± 0,000
Bromid	2,17 ± 0,013
Phosphat	17,0 ± 0,142

n.n. = nicht nachweisbar; n.b. = nicht bestimmbar,
(relative Standardabweichung >50 %)

Spurenelemente		
[mg/kg]		
Ag	328,068 nm	n.n.
Al	396,152 nm	4,82 ± 0,408
As	189,042 nm	n.n.
B	249,773 nm	1,84 ± 0,007
Ba	455,403 nm	1,52 ± 0,005
Be	234,861 nm	n.n.
Bi	223,061 nm	n.n.
Ca	422,673 nm	484,2 ± 4,854
Cd	214,438 nm	n.n.
Co	228,616 nm	0,726 ± 0,007
Cr	267,716 nm	0,458 ± 0,001
Cu	324,754 nm	0,317 ± 0,006
Fe	259,940 nm	25,2 ± 0,071
K	766,490 nm	32796,3 ± 120,7
Li	670,784 nm	n.n.
Mg	280,270 nm	257,7 ± 0,302
Mn	293,930 nm	1,92 ± 0,010
Mo	202,030 nm	0,229 ± 0,003
Na	589,592 nm	20539,7 ± 20,50
Ni	231,604 nm	0,373 ± 0,000
P	177,495 nm	9093,6 ± 46,05
Pb	220,353 nm	0,115 ± 0,001
S	182,034 nm	7101,4 ± 20,22
Sb	217,581 nm	n.n.
Se	203,985 nm	n.n.
Sr	407,771 nm	3,88 ± 0,027
Ti	337,280 nm	0,832 ± 0,031
Tl	190,856 nm	n.n.
V	292,464 nm	2,88 ± 0,030
W	239,709 nm	n.n.
Zn	206,200 nm	73,5 ± 0,348

26. Fleischpepton

Allgemeine Daten		
Trockenmasse	[%]	95,0
Gesamtstickstoff (TN)	[%]	12,4 ± 0,07
Aminostickstoff (AN)	[%]	3,17 ± 0,03
Hydrolysegrad (AN/TN)	[%]	25,5 ± 0,10
Aschegehalt	[%]	12,2

Aminosäuren	frei	gesamt
[g/100 g]		
Alanin	2,44 ± 0,032	4,54 ± 0,027
Asparagin	0,60 ± 0,006	n.n.
Asparaginsäure	1,41 ± 0,023	6,65 ± 0,125
Cystathionin	n.n.	n.n.
Glutaminsäure	2,76 ± 0,069	7,19 ± 0,010
Glycin	1,74 ± 0,030	7,26 ± 0,063
Histidin	0,75 ± 0,011	1,73 ± 0,004
Isoleucin	1,10 ± 0,017	1,94 ± 0,048
Leucin	2,91 ± 0,036	4,85 ± 0,039
Lysin	1,51 ± 0,023	3,78 ± 0,225
Methionin	0,67 ± 0,017	1,04 ± 0,014
Phenylalanin	1,44 ± 0,024	2,75 ± 0,020
Prolin	0,94 ± 0,014	5,89 ± 0,035
Serin	1,15 ± 0,021	3,24 ± 0,070
Threonin	1,03 ± 0,021	2,92 ± 0,027
Tryptophan	0,68 ± 0,010	n.n.
Tyrosin	0,49 ± 0,006	1,20 ± 0,006
Valin	1,91 ± 0,024	3,90 ± 0,024

Fettsäuren	
[mg/g]	
Methyldecanoat (C10:0)	0,546 ± 0,006
Methylstearat (C18:0)	0,083 ± 0,014

Kohlenhydrate	
[mg/g]	
Gesamtgehalt	56,4 ± 0,883
Reduzierende Zucker	32,2 ± 0,229

Kohlenhydrate	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Rhamnose	n.n.	n.n.
Arabinose	0,69	3,64 ± 0,043
Galactose	n.n.	3,47 ± 0,004
Glucose	3,43	33,2 ± 0,195
Saccharose	n.n.	n.n.
Xylose	n.n.	n.n.
Mannose	n.n.	4,34 ± 0,033
Fructose	n.n.	n.n.

Hemmstoffe	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Formiat	9,40	2,27 ± 0,136
Acetat	2,40	4,63 ± 0,160
Lävulinsäure	3,60	4,85 ± 0,056
Hydroxymethylfurfural	n.n.	1,08 ± 0,007
Furfural	0,69	0,29 ± 0,040

Vitamine		
Thiamin · HCl	[mg/100 g]	5,44 ± 0,275
Riboflavin	[mg/100 g]	3,11 ± 0,102
Nicotinsäure	[mg/100 g]	63,3 ± 2,175
Ca-Pantothenat	[mg/100 g]	21,5 ± 1,348
Pyridoxin · HCl	[mg/100 g]	5,04 ± 0,318
Biotin	[µg/100 g]	203,7 ± 10,1
Folsäure	[mg/100 g]	n.b.
Cobalamin	[µg/100 g]	51,8 ± 1,935
Inositol	[mg/100 g]	1215,8 ± 135,1

Gesamtpolyphenole	
[mg/g]	
nach MEBAK	n.n.
nach Folin-Ciocalteu	18,5 ± 1,139
Flavonoide	0,189 ± 0,003

Lösliche Salze	
[mg/g]	
Natrium	27,6 ± 0,001
Ammonium	n.n.
Kalium	20,2 ± 0,061
Magnesium	n.n.
Calcium	n.n.
Fluorid	3,90 ± 0,009
Chlorid	7,26 ± 0,003
Nitrit	n.n.
Sulfat	23,4 ± 0,036
Nitrat	n.n.
Bromid	2,44 ± 0,001
Phosphat	20,3 ± 0,158

n.n. = nicht nachweisbar; n.b. = nicht bestimmbar,
(relative Standardabweichung >50 %)

Spurenelemente		
[mg/kg]		
Ag	328,068 nm	n.n.
Al	396,152 nm	n.b.
As	189,042 nm	n.n.
B	249,773 nm	1,36 ± 0,015
Ba	455,403 nm	0,099 ± 0,012
Be	234,861 nm	n.n.
Bi	223,061 nm	n.n.
Ca	422,673 nm	225,2 ± 4,390
Cd	214,438 nm	n.n.
Co	228,616 nm	0,277 ± 0,001
Cr	267,716 nm	0,346 ± 0,022
Cu	324,754 nm	5,31 ± 0,039
Fe	259,940 nm	57,9 ± 0,878
K	766,490 nm	23083,4 ± 385,4
Li	670,784 nm	n.n.
Mg	280,270 nm	165,4 ± 0,743
Mn	293,930 nm	0,457 ± 0,007
Mo	202,030 nm	0,684 ± 0,002
Na	589,592 nm	32830,3 ± 270,4
Ni	231,604 nm	0,165 ± 0,012
P	177,495 nm	8306,2 ± 36,72
Pb	220,353 nm	0,108 ± 0,009
S	182,034 nm	13936,1 ± 10,12
Sb	217,581 nm	n.n.
Se	203,985 nm	0,135 ± 0,020
Sr	407,771 nm	1,28 ± 0,008
Ti	337,280 nm	0,330 ± 0,046
Tl	190,856 nm	n.n.
V	292,464 nm	0,383 ± 0,027
W	239,709 nm	n.n.
Zn	206,200 nm	75,4 ± 0,220

27. Hy-Soy®

Allgemeine Daten		
Trockenmasse	[%]	95,9
Gesamtstickstoff (TN)	[%]	9,21 ± 0,04
Aminostickstoff (AN)	[%]	1,21 ± 0,03
Hydrolysegrad (AN/TN)	[%]	13,2 ± 0,27
Aschegehalt	[%]	15,8

Aminosäuren	frei	gesamt
[g/100 g]		
Alanin	0,27 ± 0,003	2,29 ± 0,008
Asparagin	0,27 ± 0,007	n.n.
Asparaginsäure	0,32 ± 0,020	9,06 ± 0,199
Cystathionin	n.n.	n.n.
Glutaminsäure	0,43 ± 0,003	13,0 ± 0,234
Glycin	0,29 ± 0,006	2,34 ± 0,029
Histidin	0,51 ± 0,003	2,00 ± 0,064
Isoleucin	n.n.	1,96 ± 0,058
Leucin	0,86 ± 0,002	4,10 ± 0,035
Lysin	0,68 ± 0,017	3,62 ± 0,142
Methionin	0,19 ± 0,003	0,58 ± 0,027
Phenylalanin	0,32 ± 0,004	2,36 ± 0,051
Prolin	n.n.	3,24 ± 0,054
Serin	0,61 ± 0,032	3,97 ± 0,030
Threonin	0,20 ± 0,012	2,81 ± 0,029
Tryptophan	0,38 ± 0,007	n.n.
Tyrosin	0,33 ± 0,004	1,76 ± 0,041
Valin	0,06 ± 0,009	2,66 ± 0,044

Fettsäuren	
[mg/g]	
Methyldecanoat (C10:0)	n.n.
Methylstearat (C18:0)	0,172 ± 0,061

Kohlenhydrate	
[mg/g]	
Gesamtgehalt	177,8 ± 1,513
Reduzierende Zucker	22,3 ± 0,115

Kohlenhydrate	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Rhamnose	n.n.	n.n.
Arabinose	0,72	n.n.
Galactose	0,19	53,0 ± 0,269
Glucose	3,55	54,5 ± 0,381
Saccharose	51,5	n.b.
Xylose	n.n.	n.n.
Mannose	n.n.	2,24 ± 0,072
Fructose	3,99	2,81 ± 0,010

Hemmstoffe	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Formiat	0,99	13,1 ± 0,240
Acetat	3,37	3,35 ± 0,063
Lävulinsäure	n.n.	29,1 ± 0,105
Hydroxymethylfurfural	n.n.	8,35 ± 0,211
Furfural	0,62	0,46 ± 0,099

Vitamine		
Thiamin · HCl	[mg/100 g]	3,34 ± 0,772
Riboflavin	[mg/100 g]	1,54 ± 0,015
Nicotinsäure	[mg/100 g]	Min.
Ca-Pantothenat	[mg/100 g]	8,70 ± 0,357
Pyridoxin · HCl	[mg/100 g]	2,57 ± 0,620
Biotin	[µg/100 g]	62,2 ± 0,000
Folsäure	[mg/100 g]	0,279 ± 0,116
Cobalamin	[µg/100 g]	8,81 ± 0,156

Gesamtpolyphenole	
[mg/g]	
nach MEBAK	0,194 ± 0,000
nach Folin-Ciocalteu	19,1 ± 0,811
Flavonoide	0,089 ± 0,003

Lösliche Salze	
[mg/g]	
Natrium	33,3 ± 0,115
Ammonium	11,6 ± 0,368
Kalium	30,5 ± 0,037
Magnesium	2,17 ± 0,010
Calcium	n.n.
Fluorid	1,76 ± 0,017
Chlorid	32,6 ± 0,182
Nitrit	n.n.
Sulfat	3,24 ± 0,026
Nitrat	n.n.
Bromid	2,16 ± 0,002
Phosphat	6,64 ± 0,009

n.n. = nicht nachweisbar; n.b. = nicht bestimmbar,
(relative Standardabweichung >50 %)

Spurenelemente		
[mg/kg]		
Ag	328,068 nm	n.n.
Al	396,152 nm	19,8 ± 0,056
As	189,042 nm	0,263 ± 0,037
B	249,773 nm	40,8 ± 0,130
Ba	455,403 nm	0,206 ± 0,015
Be	234,861 nm	n.n.
Bi	223,061 nm	n.n.
Ca	422,673 nm	1067,1 ± 6,902
Cd	214,438 nm	n.n.
Co	228,616 nm	n.n.
Cr	267,716 nm	1,04 ± 0,012
Cu	324,754 nm	n.n.
Fe	259,940 nm	33,4 ± 0,006
K	766,490 nm	34817,2 ± 205,1
Li	670,784 nm	0,585 ± 0,039
Mg	280,270 nm	2596,1 ± 21,24
Mn	293,930 nm	2,66 ± 0,023
Mo	202,030 nm	2,68 ± 0,042
Na	589,592 nm	38208,1 ± 208,7
Ni	231,604 nm	9,52 ± 0,046
P	177,495 nm	2430,7 ± 52,98
Pb	220,353 nm	n.n.
S	182,034 nm	4706,6 ± 35,48
Sb	217,581 nm	n.n.
Se	203,985 nm	n.n.
Sr	407,771 nm	0,849 ± 0,021
Ti	337,280 nm	0,797 ± 0,056
Tl	190,856 nm	n.n.
V	292,464 nm	5,81 ± 0,037
W	239,709 nm	n.n.
Zn	206,200 nm	5,29 ± 0,197

28. Sojapepton

Allgemeine Daten		
Trockenmasse	[%]	93,7
Gesamtstickstoff (TN)	[%]	9,93 ± 0,20
Aminostickstoff (AN)	[%]	2,22 ± 0,03
Hydrolysegrad (AN/TN)	[%]	22,4 ± 0,15
Aschegehalt	[%]	14,3

Aminosäuren	frei	gesamt
[g/100 g]		
Alanin	1,04 ± 0,019	2,39 ± 0,071
Asparagin	0,75 ± 0,029	n.n.
Asparaginsäure	0,69 ± 0,042	8,11 ± 0,037
Cystathionin	0,59 ± 0,012	n.n.
Glutaminsäure	1,54 ± 0,116	10,0 ± 0,390
Glycin	0,97 ± 0,030	2,45 ± 0,025
Histidin	0,78 ± 0,025	1,99 ± 0,088
Isoleucin	0,38 ± 0,011	2,10 ± 0,073
Leucin	2,17 ± 0,030	4,13 ± 0,048
Lysin	1,40 ± 0,111	3,50 ± 0,061
Methionin	0,26 ± 0,012	0,64 ± 0,014
Phenylalanin	0,99 ± 0,037	2,62 ± 0,068
Prolin	0,27 ± 0,010	3,11 ± 0,009
Serin	1,26 ± 0,066	3,61 ± 0,088
Threonin	0,68 ± 0,016	2,66 ± 0,041
Tryptophan	0,56 ± 0,013	n.n.
Tyrosin	0,75 ± 0,030	1,85 ± 0,064
Valin	0,61 ± 0,010	2,86 ± 0,084

Fettsäuren	
[mg/g]	
Methyldecanoat (C10:0)	0,351 ± 0,016
Methylstearat (C18:0)	n.n.

Kohlenhydrate	
[mg/g]	
Gesamtgehalt	113,4 ± 4,527
Reduzierende Zucker	27,3 ± 0,516

Kohlenhydrate	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Rhamnose	n.n.	n.n.
Arabinose	0,77	n.b.
Galactose	0,19	31,8 ± 1,506
Glucose	3,18	33,0 ± 1,377
Saccharose	33,5	n.n.
Xylose	n.n.	n.n.
Mannose	n.n.	6,88 ± 1,056
Fructose	1,63	1,40 ± 0,003

Hemmstoffe	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Formiat	4,65	8,42 ± 0,106
Acetat	53,1	52,8 ± 0,071
Lävulinsäure	1,52	15,1 ± 0,180
Hydroxymethylfurfural	n.n.	4,88 ± 0,039
Furfural	0,88	0,89 ± 0,031

Vitamine		
Thiamin · HCl	[mg/100 g]	4,84 ± 0,000
Riboflavin	[mg/100 g]	2,63 ± 0,192
Nicotinsäure	[mg/100 g]	27,6 ± 0,690
Ca-Pantothenat	[mg/100 g]	14,7 ± 0,141
Pyridoxin · HCl	[mg/100 g]	2,78 ± 0,393
Biotin	[µg/100 g]	158,7 ± 3,580
Folsäure	[mg/100 g]	1,06 ± 0,195
Cobalamin	[µg/100 g]	9,48 ± 0,189
Inositol	[mg/100 g]	325,3 ± 46,1

Gesamtpolyphenole	
[mg/g]	
nach MEBAK	0,126 ± 0,000
nach Folin-Ciocalteu	30,5 ± 0,897
Flavonoide	0,144 ± 0,003

Lösliche Salze	
[mg/g]	
Natrium	30,0 ± 0,141
Ammonium	n.b.
Kalium	33,6 ± 0,302
Magnesium	0,984 ± 0,037
Calcium	n.n.
Fluorid	6,18 ± 0,031
Chlorid	3,14 ± 0,051
Nitrit	1,07 ± 0,011
Sulfat	5,96 ± 0,024
Nitrat	n.n.
Bromid	2,18 ± 0,000
Phosphat	6,55 ± 0,687

n.n. = nicht nachweisbar; n.b. = nicht bestimmbar,
(relative Standardabweichung >50 %)

Spurenelemente		
[mg/kg]		
Ag	328,068 nm	n.n.
Al	396,152 nm	8,15 ± 0,728
As	189,042 nm	n.n.
B	249,773 nm	22,7 ± 0,123
Ba	455,403 nm	0,169 ± 0,010
Be	234,861 nm	n.n.
Bi	223,061 nm	n.n.
Ca	422,673 nm	783,2 ± 12,40
Cd	214,438 nm	n.n.
Co	228,616 nm	0,217 ± 0,000
Cr	267,716 nm	0,234 ± 0,012
Cu	324,754 nm	0,192 ± 0,005
Fe	259,940 nm	45,4 ± 0,237
K	766,490 nm	33631,3 ± 506,6
Li	670,784 nm	0,280 ± 0,061
Mg	280,270 nm	1092,7 ± 11,00
Mn	293,930 nm	3,59 ± 0,026
Mo	202,030 nm	1,30 ± 0,013
Na	589,592 nm	31564,7 ± 392,9
Ni	231,604 nm	1,33 ± 0,003
P	177,495 nm	2243,4 ± 13,19
Pb	220,353 nm	n.n.
S	182,034 nm	9131,2 ± 44,42
Sb	217,581 nm	n.n.
Se	203,985 nm	n.n.
Sr	407,771 nm	2,46 ± 0,005
Ti	337,280 nm	0,359 ± 0,019
Tl	190,856 nm	n.n.
V	292,464 nm	0,239 ± 0,006
W	239,709 nm	n.n.
Zn	206,200 nm	32,3 ± 0,023

29. Weizenpepton

Allgemeine Daten		
Trockenmasse	[%]	92,5
Gesamtstickstoff (TN)	[%]	13,2 ± 0,05
Aminostickstoff (AN)	[%]	1,47 ± 0,02
Hydrolysegrad (AN/TN)	[%]	11,1 ± 0,11
Aschegehalt	[%]	4,95

Aminosäuren	frei	gesamt
[g/100 g]		
Alanin	0,46 ± 0,005	1,86 ± 0,030
Asparagin	0,26 ± 0,010	n.n.
Asparaginsäure	0,10 ± 0,014	3,13 ± 0,094
Cystathionin	n.n.	n.n.
Glutaminsäure	0,56 ± 0,126	30,4 ± 0,134
Glycin	0,76 ± 0,010	2,92 ± 0,056
Histidin	0,61 ± 0,009	2,42 ± 0,093
Isoleucin	n.n.	2,12 ± 0,009
Leucin	1,76 ± 0,018	5,59 ± 0,083
Lysin	0,50 ± 0,020	1,71 ± 0,053
Methionin	0,29 ± 0,013	1,10 ± 0,050
Phenylalanin	0,50 ± 0,011	4,24 ± 0,130
Prolin	0,04 ± 0,004	12,2 ± 0,259
Serin	1,14 ± 0,022	5,02 ± 0,130
Threonin	0,37 ± 0,006	2,40 ± 0,049
Tryptophan	0,42 ± 0,008	n.n.
Tyrosin	0,60 ± 0,014	2,76 ± 0,083
Valin	0,18 ± 0,006	3,16 ± 0,015

Fettsäuren	
[mg/g]	
Methyldecanoat (C10:0)	n.b.
Methylstearat (C18:0)	0,260 ± 0,061

Kohlenhydrate	
[mg/g]	
Gesamtgehalt	84,9 ± 1,037
Reduzierende Zucker	65,7 ± 0,516

Kohlenhydrate	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Rhamnose	n.n.	n.n.
Arabinose	0,90	6,77 ± 0,030
Galactose	n.n.	2,60 ± 0,052
Glucose	4,80	52,4 ± 0,510
Saccharose	0,44	n.n.
Xylose	n.n.	n.n.
Mannose	n.n.	0,13 ± 0,028
Fructose	n.n.	n.n.

Hemmstoffe	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Formiat	58,0	3,75 ± 0,002
Acetat	7,94	1,97 ± 0,153
Lävulinsäure	33,0	5,99 ± 0,181
Hydroxymethylfurfural	n.n.	2,35 ± 0,041
Furfural	2,92	0,44 ± 0,034

Vitamine		
Thiamin · HCl	[mg/100 g]	4,03 ± 0,718
Riboflavin	[mg/100 g]	1,77 ± 0,088
Nicotinsäure	[mg/100 g]	Min.
Ca-Pantothenat	[mg/100 g]	7,25 ± 0,081
Pyridoxin · HCl	[mg/100 g]	Min.
Biotin	[µg/100 g]	30,7 ± 1,447
Folsäure	[mg/100 g]	Min.
Cobalamin	[µg/100 g]	8,61 ± 0,275
Inositol	[mg/100 g]	n.b.

Gesamtpolyphenole	
[mg/g]	
nach MEBAK	0,353 ± 0,039
nach Folin-Ciocalteu	28,1 ± 1,545
Flavonoide	0,046 ± 0,002

Lösliche Salze	
[mg/g]	
Natrium	16,7 ± 0,109
Ammonium	42,4 ± 1,926
Kalium	1,98 ± 0,008
Magnesium	0,247 ± 0,033
Calcium	n.n.
Fluorid	6,60 ± 0,027
Chlorid	3,40 ± 0,014
Nitrit	n.n.
Sulfat	6,13 ± 0,185
Nitrat	n.n.
Bromid	2,19 ± 0,002
Phosphat	n.n.

n.n. = nicht nachweisbar; n.b. = nicht bestimmbar,
(relative Standardabweichung >50 %)

Spurenelemente		
[mg/kg]		
Ag	328,068 nm	n.n.
Al	396,152 nm	4,33 ± 1,952
As	189,042 nm	n.n.
B	249,773 nm	1,73 ± 0,058
Ba	455,403 nm	0,402 ± 0,014
Be	234,861 nm	n.n.
Bi	223,061 nm	n.b.
Ca	422,673 nm	753,6 ± 14,48
Cd	214,438 nm	n.n.
Co	228,616 nm	n.n.
Cr	267,716 nm	0,146 ± 0,032
Cu	324,754 nm	n.n.
Fe	259,940 nm	17,3 ± 0,407
K	766,490 nm	2640,3 ± 49,48
Li	670,784 nm	0,187 ± 0,010
Mg	280,270 nm	281,8 ± 5,094
Mn	293,930 nm	1,59 ± 0,041
Mo	202,030 nm	0,651 ± 0,017
Na	589,592 nm	18119,4 ± 253,9
Ni	231,604 nm	n.n.
P	177,495 nm	503,3 ± 2,246
Pb	220,353 nm	n.n.
S	182,034 nm	12174,8 ± 128,3
Sb	217,581 nm	n.n.
Se	203,985 nm	n.n.
Sr	407,771 nm	4,17 ± 0,065
Ti	337,280 nm	0,415 ± 0,022
Tl	190,856 nm	n.n.
V	292,464 nm	0,093 ± 0,009
W	239,709 nm	n.n.
Zn	206,200 nm	23,6 ± 0,084

30. Pflanzenpepton

Allgemeine Daten		
Trockenmasse	[%]	95,0
Gesamtstickstoff (TN)	[%]	10,7 ± 0,05
Aminostickstoff (AN)	[%]	3,72 ± 0,04
Hydrolysegrad (AN/TN)	[%]	34,7 ± 0,21
Aschegehalt	[%]	18,0

Aminosäuren	frei	gesamt
[g/100 g]		
Alanin	1,48 ± 0,037	3,05 ± 0,051
Asparagin	2,34 ± 0,099	n.n.
Asparaginsäure	1,83 ± 0,035	11,2 ± 0,333
Cystathionin	0,60 ± 0,008	n.n.
Glutaminsäure	1,52 ± 0,081	7,60 ± 0,218
Glycin	0,69 ± 0,025	3,07 ± 0,024
Histidin	1,31 ± 0,022	2,18 ± 0,059
Isoleucin	2,56 ± 0,012	3,54 ± 0,047
Leucin	5,42 ± 0,094	6,83 ± 0,119
Lysin	2,89 ± 0,274	5,35 ± 0,182
Methionin	0,67 ± 0,036	1,39 ± 0,037
Phenylalanin	3,06 ± 0,101	4,07 ± 0,085
Prolin	0,26 ± 0,006	4,19 ± 0,020
Serin	2,09 ± 0,130	4,41 ± 0,156
Threonin	2,58 ± 0,065	4,49 ± 0,094
Tryptophan	0,69 ± 0,024	n.n.
Tyrosin	2,80 ± 0,100	3,66 ± 0,103
Valin	3,07 ± 0,010	4,47 ± 0,041

Fettsäuren	
[mg/g]	
Methyldecanoat (C10:0)	0,040 ± 0,009
Methylstearat (C18:0)	0,338 ± 0,032

Kohlenhydrate	
[mg/g]	
Gesamtgehalt	29,9 ± 0,988
Reduzierende Zucker	27,1 ± 0,459

Kohlenhydrate	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Rhamnose	n.n.	n.n.
Arabinose	0,80	n.n.
Galactose	0,30	n.n.
Glucose	5,32	9,57 ± 1,551
Saccharose	n.n.	n.n.
Xylose	n.n.	n.n.
Mannose	n.n.	3,10 ± 0,026
Fructose	3,68	n.n.

Hemmstoffe	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Formiat	3,55	2,62 ± 0,007
Acetat	3,85	2,86 ± 0,025
Lävulinsäure	1,85	4,11 ± 0,009
Hydroxymethylfurfural	n.n.	1,32 ± 0,012
Furfural	1,26	0,82 ± 0,151

Vitamine		
Thiamin · HCl	[mg/100 g]	3,39 ± 0,453
Riboflavin	[mg/100 g]	1,91 ± 0,007
Nicotinsäure	[mg/100 g]	Min.
Ca-Pantothenat	[mg/100 g]	7,03 ± 0,061
Pyridoxin · HCl	[mg/100 g]	0,36 ± 0,000
Biotin	[µg/100 g]	30,5 ± 0,241
Folsäure	[mg/100 g]	n.b.
Cobalamin	[µg/100 g]	9,40 ± 0,076
Inositol	[mg/100 g]	572,8 ± 199,5

Gesamtpolyphenole	
[mg/g]	
nach MEBAK	2,98 ± 0,041
nach Folin-Ciocalteu	35,4 ± 1,336
Flavonoide	0,067 ± 0,003

Lösliche Salze	
[mg/g]	
Natrium	56,3 ± 0,100
Ammonium	7,31 ± 0,291
Kalium	13,7 ± 0,085
Magnesium	0,766 ± 0,021
Calcium	n.n.
Fluorid	3,02 ± 0,038
Chlorid	70,1 ± 0,280
Nitrit	n.n.
Sulfat	4,34 ± 0,009
Nitrat	n.n.
Bromid	2,28 ± 0,001
Phosphat	8,60 ± 0,081

n.n. = nicht nachweisbar; n.b. = nicht bestimmbar,
(relative Standardabweichung >50 %)

Spurenelemente		
[mg/kg]		
Ag	328,068 nm	n.n.
Al	396,152 nm	11,7 ± 0,176
As	189,042 nm	n.n.
B	249,773 nm	2,71 ± 0,006
Ba	455,403 nm	0,553 ± 0,001
Be	234,861 nm	n.n.
Bi	223,061 nm	n.n.
Ca	422,673 nm	1721,7 ± 63,10
Cd	214,438 nm	0,346 ± 0,003
Co	228,616 nm	n.n.
Cr	267,716 nm	0,359 ± 0,001
Cu	324,754 nm	n.b.
Fe	259,940 nm	34,2 ± 0,008
K	766,490 nm	14984,4 ± 101,4
Li	670,784 nm	0,131 ± 0,000
Mg	280,270 nm	895,9 ± 26,88
Mn	293,930 nm	5,55 ± 0,011
Mo	202,030 nm	0,493 ± 0,025
Na	589,592 nm	56860,2 ± 562,4
Ni	231,604 nm	0,210 ± 0,038
P	177,495 nm	4700,5 ± 70,51
Pb	220,353 nm	n.n.
S	182,034 nm	8807,7 ± 187,5
Sb	217,581 nm	n.n.
Se	203,985 nm	n.n.
Sr	407,771 nm	8,21 ± 0,038
Ti	337,280 nm	0,468 ± 0,020
Tl	190,856 nm	n.n.
V	292,464 nm	0,440 ± 0,002
W	239,709 nm	n.n.
Zn	206,200 nm	35,7 ± 1,925

31. Trypton aus Casein (Roth)

Allgemeine Daten		
Trockenmasse	[%]	95,4
Gesamtstickstoff (TN)	[%]	13,4 ± 0,08
Aminostickstoff (AN)	[%]	2,56 ± 0,04
Hydrolysegrad (AN/TN)	[%]	19,1 ± 0,18
Aschegehalt	[%]	7,50

Aminosäuren	frei	gesamt
[g/100 g]		
Alanin	0,61 ± 0,006	2,47 ± 0,028
Asparagin	0,35 ± 0,006	n.n.
Asparaginsäure	0,18 ± 0,078	7,80 ± 0,083
Cystathionin	0,61 ± 0,023	n.n.
Glutaminsäure	0,84 ± 0,057	19,1 ± 1,431
Glycin	0,14 ± 0,015	1,57 ± 0,014
Histidin	0,65 ± 0,011	3,43 ± 0,120
Isoleucin	0,78 ± 0,021	4,37 ± 0,054
Leucin	4,77 ± 0,044	8,82 ± 0,065
Lysin	3,53 ± 0,188	7,18 ± 0,568
Methionin	0,90 ± 0,009	2,51 ± 0,081
Phenylalanin	2,39 ± 0,023	4,43 ± 0,088
Prolin	0,16 ± 0,003	11,8 ± 0,121
Serin	0,66 ± 0,009	6,35 ± 0,018
Threonin	0,67 ± 0,005	4,69 ± 0,012
Tryptophan	1,02 ± 0,017	n.n.
Tyrosin	0,60 ± 0,007	2,23 ± 0,047
Valin	1,19 ± 0,008	6,24 ± 0,046

Fettsäuren	
[mg/g]	
Methylcapronat (C6:0)	0,187 ± 0,016
Methylstearat (C18:0)	0,182 ± 0,029

Kohlenhydrate	
[mg/g]	
Gesamtgehalt	6,12 ± 0,694
Reduzierende Zucker	11,4 ± 0,057

Kohlenhydrate	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Rhamnose	n.n.	n.n.
Arabinose	0,71	n.n.
Galactose	0,24	2,03 ± 0,032
Glucose	2,22	2,03 ± 0,020
Saccharose	n.n.	n.n.
Xylose	n.n.	n.n.
Mannose	n.n.	n.n.
Fructose	n.n.	n.n.

Hemmstoffe	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Formiat	3,86	n.n.
Acetat	4,46	0,84 ± 0,035
Lävulinsäure	0,18	n.n.
Hydroxymethylfurfural	n.n.	n.n.
Furfural	2,00	n.n.

Gesamtpolyphenole	
[mg/g]	
nach MEBAK	n.n.
nach Folin-Ciocalteu	20,1 ± 0,863
Flavonoide	n.n.

Lösliche Salze	
[mg/g]	
Natrium	25,4 ± 0,095
Ammonium	34,5 ± 1,164
Kalium	0,956 ± 0,010
Magnesium	n.n.
Calcium	n.n.
Fluorid	3,872 ± 0,069
Chlorid	0,784 ± 0,001
Nitrit	2,481 ± 0,015
Sulfat	4,151 ± 0,067
Nitrat	2,903 ± 0,018
Bromid	n.n.
Phosphat	19,5 ± 0,085

n.n. = nicht nachweisbar; n.b. = nicht bestimmbar,
(relative Standardabweichung >50 %)

Spurenelemente		
[mg/kg]		
Ag	328,068 nm	n.n.
Al	396,152 nm	8,78 ± 0,049
As	189,042 nm	0,197 ± 0,051
B	249,773 nm	0,769 ± 0,015
Ba	455,403 nm	2,37 ± 0,001
Be	234,861 nm	n.n.
Bi	223,061 nm	n.n.
Ca	422,673 nm	620,7 ± 11,58
Cd	214,438 nm	n.n.
Co	228,616 nm	n.n.
Cr	267,716 nm	3,81 ± 0,026
Cu	324,754 nm	0,606 ± 0,011
Fe	259,940 nm	24,5 ± 0,178
K	766,490 nm	1928,8 ± 105,9
Li	670,784 nm	n.n.
Mg	280,270 nm	122,1 ± 0,740
Mn	293,930 nm	0,604 ± 0,003
Mo	202,030 nm	2,35 ± 0,018
Na	589,592 nm	29247,8 ± 227,1
Ni	231,604 nm	0,423 ± 0,004
P	177,495 nm	9339,4 ± 5,747
Pb	220,353 nm	0,136 ± 0,017
S	182,034 nm	7625,5 ± 33,18
Sb	217,581 nm	n.n.
Se	203,985 nm	n.n.
Sr	407,771 nm	1,17 ± 0,011
Ti	337,280 nm	2,97 ± 0,059
Tl	190,856 nm	n.n.
V	292,464 nm	4,76 ± 0,035
W	239,709 nm	n.n.
Zn	206,200 nm	43,4 ± 0,305

32. Trypton aus Casein (Fluka)

Allgemeine Daten		
Trockenmasse	[%]	97,5
Gesamtstickstoff (TN)	[%]	13,8 ± 0,06
Aminostickstoff (AN)	[%]	2,75 ± 0,02
Hydrolysegrad (AN/TN)	[%]	19,9 ± 0,06
Aschegehalt	[%]	6,00

Aminosäuren	frei	gesamt
[g/100 g]		
Alanin	0,43 ± 0,005	2,64 ± 0,022
Asparagin	0,28 ± 0,005	n.n.
Asparaginsäure	0,16 ± 0,017	8,39 ± 0,122
Cystathionin	0,61 ± 0,009	n.n.
Glutaminsäure	0,50 ± 0,051	19,0 ± 0,324
Glycin	0,11 ± 0,012	1,83 ± 0,025
Histidin	0,78 ± 0,015	3,66 ± 0,160 ±
Isoleucin	0,78 ± 0,002	4,53 ± 0,138
Leucin	4,72 ± 0,032	9,35 ± 0,078
Lysin	4,68 ± 0,049	7,42 ± 0,040
Methionin	0,98 ± 0,026	2,66 ± 0,093
Phenylalanin	2,36 ± 0,009	4,87 ± 0,095
Prolin	0,08 ± 0,005	12,3 ± 0,263
Serin	0,75 ± 0,014	6,20 ± 0,203
Threonin	0,58 ± 0,007	4,60 ± 0,176
Tryptophan	1,27 ± 0,019	n.n.
Tyrosin	0,78 ± 0,001	2,55 ± 0,053
Valin	1,20 ± 0,010	6,33 ± 0,125

Fettsäuren	
[mg/g]	
Methylcapronat (C6:0)	0,216 ± 0,008
Methyldecanoat (C10:0)	0,134 ± 0,003
Methylstearat (C18:0)	n.b.

Kohlenhydrate	
[mg/g]	
Gesamtgehalt	5,55 ± 0,818
Reduzierende Zucker	10,1 ± 0,057

Kohlenhydrate	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Rhamnose	n.n.	n.n.
Arabinose	0,71	n.n.
Galactose	0,08	1,82 ± 0,054
Glucose	2,21	0,04 ± 0,001
Saccharose	n.n.	n.n.
Xylose	n.n.	n.n.
Mannose	n.n.	0,16 ± 0,013
Fructose	n.n.	n.n.

Hemmstoffe	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Formiat	5,75	n.n.
Acetat	8,78	1,25 ± 0,072
Lävulinsäure	0,30	n.n.
Hydroxymethylfurfural	n.n.	n.n.
Furfural	2,72	n.n.

Gesamtpolyphenole	
[mg/g]	
nach MEBAK	n.n.
nach Folin-Ciocalteu	24,2 ± 0,836
Flavonoide	n.n.

Lösliche Salze	
[mg/g]	
Natrium	20,8 ± 0,020
Ammonium	26,1 ± 0,285
Kalium	1,90 ± 0,025
Magnesium	n.n.
Calcium	n.n.
Fluorid	3,93 ± 0,015
Chlorid	1,05 ± 0,030
Nitrit	n.n.
Sulfat	4,34 ± 0,010
Nitrat	2,97 ± 0,004
Bromid	n.n.
Phosphat	13,1 ± 0,044

n.n. = nicht nachweisbar; n.b. = nicht bestimmbar,
(relative Standardabweichung >50 %)

Spurenelemente		
[mg/kg]		
Ag	328,068 nm	n.n.
Al	396,152 nm	3,38 ± 0,387
As	189,042 nm	n.n.
B	249,773 nm	7,54 ± 0,227
Ba	455,403 nm	0,147 ± 0,038
Be	234,861 nm	n.n.
Bi	223,061 nm	n.n.
Ca	422,673 nm	94,4 ± 5,764
Cd	214,438 nm	n.n.
Co	228,616 nm	n.n.
Cr	267,716 nm	0,281 ± 0,001
Cu	324,754 nm	0,446 ± 0,021
Fe	259,940 nm	5,08 ± 0,120
K	766,490 nm	2418,6 ± 8,115
Li	670,784 nm	n.n.
Mg	280,270 nm	144,9 ± 2,553
Mn	293,930 nm	0,574 ± 0,003
Mo	202,030 nm	0,343 ± 0,001
Na	589,592 nm	23264,9 ± 329,7
Ni	231,604 nm	n.n.
P	177,495 nm	8694,5 ± 85,67
Pb	220,353 nm	0,184 ± 0,054
S	182,034 nm	8417,1 ± 82,05
Sb	217,581 nm	n.n.
Se	203,985 nm	n.n.
Sr	407,771 nm	1,81 ± 0,014
Ti	337,280 nm	0,355 ± 0,141
Tl	190,856 nm	n.n.
V	292,464 nm	n.n.
W	239,709 nm	n.n.
Zn	206,200 nm	43,0 ± 0,272

33. Pepton aus Casein (Fluka)

Allgemeine Daten		
Trockenmasse	[%]	90,9
Gesamtstickstoff (TN)	[%]	12,4 ± 0,03
Aminostickstoff (AN)	[%]	2,77 ± 0,05
Hydrolysegrad (AN/TN)	[%]	22,4 ± 0,35
Aschegehalt	[%]	8,20

Aminosäuren	frei	gesamt
[g/100 g]		
Alanin	0,43 ± 0,003	2,32 ± 0,016
Asparagin	0,39 ± 0,003	n.n.
Asparaginsäure	0,15 ± 0,016	7,29 ± 0,177
Cystathionin	0,61 ± 0,011	n.n.
Glutaminsäure	0,58 ± 0,025	18,1 ± 0,959
Glycin	0,14 ± 0,009	1,48 ± 0,019
Histidin	0,91 ± 0,017	2,93 ± 0,020
Isoleucin	0,96 ± 0,025	4,05 ± 0,061
Leucin	4,94 ± 0,072	8,24 ± 0,052
Lysin	4,83 ± 0,211	7,14 ± 0,003
Methionin	0,81 ± 0,007	2,24 ± 0,067
Phenylalanin	2,54 ± 0,055	4,21 ± 0,046
Prolin	0,08 ± 0,002	10,4 ± 0,121
Serin	0,88 ± 0,020	5,50 ± 0,029
Threonin	0,85 ± 0,009	4,19 ± 0,013
Tryptophan	0,99 ± 0,019	n.n.
Tyrosin	2,49 ± 0,053	3,25 ± 0,073
Valin	1,49 ± 0,007	5,70 ± 0,025

Fettsäuren		
[mg/g]		
Methylcapronat (C6:0)		0,213 ± 0,005
Methyldecanoat (C10:0)		0,154 ± 0,005
Methylstearat (C18:0)		n.b.

Kohlenhydrate	
[mg/g]	
Gesamtgehalt	4,10 ± 0,082
Reduzierende Zucker	12,6 ± 0,057

Kohlenhydrate	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Rhamnose	n.n.	n.n.
Arabinose	0,73	n.n.
Galactose	0,58	3,21 ± 0,045
Glucose	2,17	n.n.
Saccharose	n.n.	n.n.
Xylose	n.n.	n.n.
Mannose	n.n.	n.n.
Fructose	n.n.	n.n.

Hemmstoffe	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Formiat	11,1	1,09 ± 0,054
Acetat	9,63	1,80 ± 0,157
Lävulinsäure	0,58	n.n.
Hydroxymethylfurfural	n.n.	n.n.
Furfural	2,22	n.n.

Vitamine		
Thiamin · HCl	[mg/100 g]	8,25 ± 0,074
Riboflavin	[mg/100 g]	1,69 ± 0,095
Nicotinsäure	[mg/100 g]	69,6 ± 1,048
Ca-Pantothenat	[mg/100 g]	6,67 ± 0,201
Pyridoxin · HCl	[mg/100 g]	Min.
Biotin	[µg/100 g]	28,6 ± 0,000
Folsäure	[mg/100 g]	Min.
Cobalamin	[µg/100 g]	8,60 ± 0,118
Inositol	[mg/100 g]	454,2 ± 66,3

Gesamtpolyphenole	
[mg/g]	
nach MEBAK	n.n.
nach Folin-Ciocalteu	30,4 ± 1,040
Flavonoide	n.n.

Lösliche Salze	
[mg/g]	
Natrium	27,8 ± 0,252
Ammonium	20,9 ± 0,354
Kalium	0,947 ± 0,001
Magnesium	n.n.
Calcium	n.n.
Fluorid	4,40 ± 0,029
Chlorid	1,18 ± 0,010
Nitrit	n.n.
Sulfat	2,78 ± 0,014
Nitrat	2,98 ± 0,001
Bromid	2,10 ± 0,003
Phosphat	16,7 ± 0,092

n.n. = nicht nachweisbar; n.b. = nicht bestimmbar,
(relative Standardabweichung >50 %)

Spurenelemente		
[mg/kg]		
Ag	328,068 nm	n.n.
Al	396,152 nm	64,3 ± 1,242
As	189,042 nm	0,709 ± 0,068
B	249,773 nm	1,18 ± 0,011
Ba	455,403 nm	20,4 ± 0,040
Be	234,861 nm	n.n.
Bi	223,061 nm	n.n.
Ca	422,673 nm	322,4 ± 6,210
Cd	214,438 nm	n.n.
Co	228,616 nm	0,120 ± 0,008
Cr	267,716 nm	0,536 ± 0,003
Cu	324,754 nm	2,17 ± 0,045
Fe	259,940 nm	27,9 ± 0,482
K	766,490 nm	1493,3 ± 4,048
Li	670,784 nm	0,312 ± 0,091
Mg	280,270 nm	102,2 ± 0,583
Mn	293,930 nm	1,26 ± 0,035
Mo	202,030 nm	1,22 ± 0,006
Na	589,592 nm	28673,2 ± 11,07
Ni	231,604 nm	1,25 ± 0,006
P	177,495 nm	9351,0 ± 5,348
Pb	220,353 nm	n.n.
S	182,034 nm	7322,9 ± 0,212
Sb	217,581 nm	n.n.
Se	203,985 nm	n.n.
Sr	407,771 nm	3,29 ± 0,025
Ti	337,280 nm	4,48 ± 0,160
Tl	190,856 nm	n.n.
V	292,464 nm	1,21 ± 0,025
W	239,709 nm	n.n.
Zn	206,200 nm	31,0 ± 0,453

34. Prolitech R

Allgemeine Daten		
Trockenmasse	[%]	57,9
Gesamtstickstoff (TN)	[%]	6,80 ± 0,03
Aminostickstoff (AN)	[%]	0,55 ± 0,01
Hydrolysegrad (AN/TN)	[%]	8,08 ± 0,11
Aschegehalt	[%]	12,5

Aminosäuren	frei	gesamt
[g/100 g]		
Alanin	0,21 ± 0,004	2,66 ± 0,051
Asparagin	n.n.	n.n.
Asparaginsäure	0,13 ± 0,037	2,90 ± 0,011
Cystathionin	n.n.	n.n.
Glutaminsäure	n.n.	4,59 ± 0,117
Glycin	0,18 ± 0,007	4,52 ± 0,023
Histidin	0,34 ± 0,007	1,15 ± 0,019
Isoleucin	n.n.	0,87 ± 0,012
Leucin	0,11 ± 0,001	2,51 ± 0,019
Lysin	0,21 ± 0,007	1,98 ± 0,078
Methionin	0,08 ± 0,002	0,62 ± 0,013
Phenylalanin	0,07 ± 0,002	1,40 ± 0,008
Prolin	0,12 ± 0,001	3,65 ± 0,009
Serin	0,11 ± 0,007	1,43 ± 0,022
Threonin	n.n.	1,00 ± 0,004
Tryptophan	n.n.	n.n.
Tyrosin	0,12 ± 0,003	1,00 ± 0,013
Valin	0,05 ± 0,003	1,79 ± 0,020

Gesamtpolyphenole	
[mg/g]	
nach MEBAK	0,330 ± 0,068
nach Folin-Ciocalteu	11,4 ± 0,487
Flavonoide	0,941 ± 0,006

Kohlenhydrate	
[mg/g]	
Gesamtgehalt	5,95 ± 0,286
Reduzierende Zucker	14,2 ± 0,057

Kohlenhydrate	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Rhamnose	n.n.	n.n.
Arabinose	n.n.	n.n.
Galactose	n.n.	n.n.
Glucose	2,18	4,43 ± 0,289
Saccharose	n.n.	n.n.
Xylose	n.n.	n.n.
Mannose	n.n.	n.n.
Fructose	n.n.	n.n.

Hemmstoffe	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Formiat	7,70	1,33 ± 0,003
Acetat	9,58	9,70 ± 1,045
Lävulinsäure	1,93	n.n.
Hydroxymethylfurfural	n.n.	n.n.
Furfural	0,34	n.n.

Vitamine		
Thiamin · HCl	[mg/100 g]	2,19
Riboflavin	[mg/100 g]	1,43 ± 0,036
Nicotinsäure	[mg/100 g]	17,1
Ca-Pantothenat	[mg/100 g]	5,59
Pyridoxin · HCl	[mg/100 g]	1,45
Biotin	[µg/100 g]	19,7
Folsäure	[mg/100 g]	Min.
Cobalamin	[µg/100 g]	7,03
Inositol	[mg/100 g]	292,9

Fettsäuren	
[mg/g]	
Methylcapronat (C6:0)	0,285 ± 0,010
Methyldecanoat (C10:0)	0,110 ± 0,001
Methylmyristat (C14:0)	0,862 ± 0,114
Methylpalmitat (C16:0)	12,6 ± 0,437
Methylpalmitoleat (C16:1)	1,36 ± 0,067
Methylheptadecanoat (C17:0)	0,248 ± 0,019
Methylstearat (C18:0)	7,32 ± 0,227
Methylelaidinat (C18:1n9trans)	20,3 ± 0,196
Methylinolelaidat (C18:2n6tr.)	7,54 ± 0,015
Methylinoleat (C18:3n3)	0,386 ± 0,011
Methylarachinoat (C20:0)	0,025 ± 0,001
Methyl- <i>cis</i> -11-eicosenoat (20:1)	0,299 ± 0,022
Methyleicosadienoat (C20:2)	0,185 ± 0,013
Methylarachidonat (C20:4n6)	0,336 ± 0,011

Lösliche Salze	
[mg/g]	
Natrium	14,3 ± 0,017
Ammonium	3,53 ± 0,055
Kalium	7,20 ± 0,001
Magnesium	0,041 ± 0,030
Calcium	0,780 ± 0,129
Fluorid	2,71 ± 0,010
Chlorid	20,0 ± 0,043
Nitrit	n.n.
Sulfat	2,15 ± 0,004
Nitrat	n.n.
Bromid	n.n.
Phosphat	8,74 ± 0,001

Spurenelemente		
[mg/kg]		
Ag	328,068 nm	n.n.
Al	396,152 nm	22,5 ± 0,032
As	189,042 nm	n.n.
B	249,773 nm	22,9 ± 0,057
Ba	455,403 nm	2,17 ± 0,010
Be	234,861 nm	n.n.
Bi	223,061 nm	n.n.
Ca	422,673 nm	9507,2 ± 94,82
Cd	214,438 nm	n.n.
Co	228,616 nm	n.n.
Cr	267,716 nm	0,440 ± 0,012
Cu	324,754 nm	3,14 ± 0,016
Fe	259,940 nm	62,9 ± 0,164
K	766,490 nm	8052,4 ± 106,9
Li	670,784 nm	0,311 ± 0,014
Mg	280,270 nm	404,2 ± 2,557
Mn	293,930 nm	2,14 ± 0,010
Mo	202,030 nm	0,181 ± 0,005
Na	589,592 nm	16708,0 ± 108,2
Ni	231,604 nm	0,436 ± 0,001
P	177,495 nm	4301,8 ± 6,664
Pb	220,353 nm	n.n.
S	182,034 nm	3101,3 ± 8,340
Sb	217,581 nm	n.n.
Se	203,985 nm	n.n.
Sr	407,771 nm	6,12 ± 0,009
Ti	337,280 nm	1,47 ± 0,012
Tl	190,856 nm	n.n.
V	292,464 nm	0,391 ± 0,009
W	239,709 nm	n.n.
Zn	206,200 nm	20,6 ± 0,045

n.n. = nicht nachweisbar; n.b. = nicht bestimmbar,
(relative Standardabweichung >50 %)

35. Kartoffelrestfruchtwasser

Allgemeine Daten		
Trockenmasse	[%]	52,1
Gesamtstickstoff (TN)	[%]	2,32 ± 0,002
Aminostickstoff (AN)	[%]	0,51 ± 0,005
Hydrolysegrad (AN/TN)	[%]	21,9 ± 0,196
Aschegehalt	[%]	40,7

Aminosäuren	frei	gesamt
[g/100 g]		
Alanin	0,07 ± 0,004	0,29 ± 0,007
Asparagin	1,88 ± 0,041	n.n.
Asparaginsäure	0,49 ± 0,015	3,74 ± 0,036
Cystathionin	n.n.	n.n.
Glutaminsäure	0,49 ± 0,003	1,83 ± 0,032
Glycin	n.n.	0,27 ± 0,001
Histidin	0,34 ± 0,005	0,41 ± 0,009
Isoleucin	n.n.	0,11 ± 0,005
Leucin	0,06 ± 0,004	0,47 ± 0,005
Lysin	0,23 ± 0,007	0,50 ± 0,012
Methionin	0,08 ± 0,002	0,14 ± 0,005
Phenylalanin	0,09 ± 0,002	0,38 ± 0,002
Prolin	0,11 ± 0,004	0,44 ± 0,007
Serin	0,51 ± 0,025	0,76 ± 0,018
Threonin	n.n.	0,34 ± 0,007
Tryptophan	n.n.	n.n.
Tyrosin	0,13 ± 0,002	0,33 ± 0,010
Valin	0,09 ± 0,002	0,40 ± 0,008

Fettsäuren	
[mg/g]	
Methyloctanoat (C8:0)	0,087 ± 0,027
Methyldecanoat (C10:0)	0,391 ± 0,020
Methylpalmitat (C16:0)	0,145 ± 0,015
Methylstearat (C18:0)	0,236 ± 0,008
Methyllinolelaidat (C18:2n6tr.)	0,337 ± 0,018

Kohlenhydrate	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Rhamnose	n.n.	n.n.
Arabinose	0,70	n.n.
Galactose	0,02	4,88 ± 0,004
Glucose	4,32	41,2 ± 0,789
Saccharose	49,3	n.n.
Xylose	n.n.	n.n.
Mannose	n.n.	n.n.
Fructose	n.n.	1,10 ± 0,110

Hemmstoffe	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Formiat	2,39	6,77 ± 0,047
Acetat	3,66	4,35 ± 0,119
Lävulinsäure	0,41	12,6 ± 0,136
Hydroxymethylfurfural	n.n.	3,49 ± 0,119
Furfural	n.n.	0,60 ± 0,074

Vitamine		
Thiamin · HCl	[mg/100 g]	4,03 ± 0,718
Riboflavin	[mg/100 g]	1,44 ± 0,022
Nicotinsäure	[mg/100 g]	46,4 ± 0,302
Ca-Pantothenat	[mg/100 g]	14,2 ± 0,023
Pyridoxin · HCl	[mg/100 g]	6,55 ± 0,102
Biotin	[µg/100 g]	30,7 ± 0,482
Folsäure	[mg/100 g]	Min.
Cobalamin	[µg/100 g]	8,91 ± 0,078
Inositol	[mg/100 g]	971,1 ± 126,0

Gesamtpolyphenole	
[mg/g]	
nach Folin-Ciocalteu	37,7 ± 1,083

Lösliche Salze	
[mg/g]	
Natrium	9,00 ± 0,005
Ammonium	n.n.
Kalium	70,2 ± 0,086
Magnesium	2,30 ± 0,063
Calcium	n.n.
Fluorid	8,63 ± 0,036
Chlorid	4,91 ± 0,040
Nitrit	n.n.
Sulfat	15,1 ± 0,106
Nitrat	n.n.
Bromid	2,89 ± 0,001
Phosphat	12,6 ± 0,052

n.n. = nicht nachweisbar; n.b. = nicht bestimmbar,
(relative Standardabweichung >50 %)

Spurenelemente		
[mg/kg]		
Ag	328,068 nm	n.n.
Al	396,152 nm	13,5 ± 0,188
As	189,042 nm	n.n.
B	249,773 nm	12,2 ± 0,026
Ba	455,403 nm	1,14 ± 0,003
Be	234,861 nm	n.n.
Bi	223,061 nm	n.n.
Ca	422,673 nm	825,5 ± 3,379
Cd	214,438 nm	0,888 ± 0,010
Co	228,616 nm	0,214 ± 0,001
Cr	267,716 nm	0,409 ± 0,000
Cu	324,754 nm	5,74 ± 0,080
Fe	259,940 nm	174,8 ± 0,762
K	766,490 nm	32291,7 ± 3045,4
Li	670,784 nm	n.n.
Mg	280,270 nm	3123,0 ± 42,98
Mn	293,930 nm	21,7 ± 0,134
Mo	202,030 nm	0,132 ± 0,022
Na	589,592 nm	7800,7 ± 174,3
Ni	231,604 nm	1,16 ± 0,023
P	177,495 nm	10086,3 ± 122,5
Pb	220,353 nm	n.n.
S	182,034 nm	8210,6 ± 46,88
Sb	217,581 nm	n.n.
Se	203,985 nm	n.n.
Sr	407,771 nm	0,904 ± 0,005
Ti	337,280 nm	0,561 ± 0,035
Tl	190,856 nm	n.n.
V	292,464 nm	3,936 ± 0,237
W	239,709 nm	n.n.
Zn	206,200 nm	49,2 ± 0,318

36. Maisquellwasser

Allgemeine Daten		
Trockenmasse	[%]	59,1
Gesamtstickstoff (TN)	[%]	2,05 ± 0,034
Aminostickstoff (AN)	[%]	0,27 ± 0,013
Hydrolysegrad (AN/TN)	[%]	13,1 ± 0,416
Aschegehalt	[%]	12,7

Aminosäuren	frei	gesamt
[g/100 g]		
Alanin	0,33 ± 0,008	0,70 ± 0,011
Asparagin	n.n.	n.n.
Asparaginsäure	0,06 ± 0,001	0,74 ± 0,029
Cystathionin	n.n.	n.n.
Glutaminsäure	n.n.	1,57 ± 0,028
Glycin	0,07 ± 0,004	0,52 ± 0,011
Histidin	0,35 ± 0,002	0,70 ± 0,016
Isoleucin	n.n.	n.n.
Leucin	0,15 ± 0,004	0,56 ± 0,004
Lysin	0,22 ± 0,008	0,53 ± 0,012
Methionin	0,09 ± 0,004	0,15 ± 0,007
Phenylalanin	0,10 ± 0,005	0,28 ± 0,006
Prolin	0,57 ± 0,002	1,31 ± 0,017
Serin	0,19 ± 0,017	0,65 ± 0,019
Threonin	n.n.	0,37 ± 0,017
Tryptophan	n.n.	n.n.
Tyrosin	0,17 ± 0,002	0,33 ± 0,014
Valin	0,12 ± 0,005	0,44 ± 0,009

Gesamtpolyphenole [mg/g]	
nach MEBAK	0,774 ± 0,048
nach Folin-Ciocalteu	9,92 ± 0,164
Flavonoide	0,494 ± 0,018

Kohlenhydrate		
[mg/g]		
Gesamtgehalt		84,0 ± 0,317
Reduzierende Zucker		38,5 ± 0,344

Kohlenhydrate	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Rhamnose	n.n.	n.n.
Arabinose	1,29	n.n.
Galactose	0,90	0,83 ± 0,056
Glucose	5,60	48,7 ± 0,304
Saccharose	n.n.	n.n.
Xylose	n.n.	n.n.
Mannose	n.n.	9,17 ± 0,096
Fructose	0,27	n.n.

Hemmstoffe	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Formiat	219,2	2,11 ± 0,038
Acetat	1,56	2,14 ± 0,012
Lävulinsäure	0,07	7,53 ± 0,053
Hydroxymethylfurfural	0,37	1,53 ± 0,094
Furfural	n.n.	2,03 ± 0,021

Vitamine		
Thiamin · HCl	[mg/100 g]	3,41 ± 0,881
Riboflavin	[mg/100 g]	1,64 ± 0,007
Nicotinsäure	[mg/100 g]	5,52 ± 2,055
Ca-Pantothenat	[mg/100 g]	7,13 ± 0,487
Pyridoxin · HCl	[mg/100 g]	0,29 ± 0,092
Biotin	[µg/100 g]	36,5 ± 5,311
Folsäure	[mg/100 g]	Min.
Cobalamin	[µg/100 g]	7,59 ± 0,04
Inositol	[mg/100 g]	3196,3 ± 864,2

Fettsäuren	
[mg/g]	
Methyldecanoat (C10:0)	1,53 ± 0,070
Methylpalmitat (C16:0)	1,52 ± 0,085
Methylstearat (C18:0)	0,472 ± 0,006
Methylelaidinat (C18:1n9tr.)	1,88 ± 0,001
Methyllinolelaidat (C18:2n6tr.)	8,52 ± 0,066
Methyllinoleat (C18:3n3)	0,025 ± 0,011

Lösliche Salze	
[mg/g]	
Natrium	7,55 ± 0,010
Ammonium	n.n.
Kalium	17,9 ± 0,003
Magnesium	4,41 ± 0,113
Calcium	n.n.
Fluorid	8,84 ± 0,401
Chlorid	4,84 ± 0,005
Nitrit	n.n.
Sulfat	3,61 ± 0,009
Nitrat	n.n.
Bromid	2,17 ± 0,001
Phosphat	27,7 ± 0,079

n.n. = nicht nachweisbar; n.b. = nicht bestimmbar,
(relative Standardabweichung >50 %)

Spurenelemente		
[mg/kg]		
Ag	328,068 nm	n.n.
Al	396,152 nm	3,84 ± 0,355
As	189,042 nm	n.n.
B	249,773 nm	6,73 ± 0,030
Ba	455,403 nm	1,08 ± 0,019
Be	234,861 nm	n.n.
Bi	223,061 nm	n.n.
Ca	422,673 nm	745,7 ± 8,041
Cd	214,438 nm	n.n.
Co	228,616 nm	n.n.
Cr	267,716 nm	0,544 ± 0,012
Cu	324,754 nm	1,50 ± 0,012
Fe	259,940 nm	80,5 ± 0,300
K	766,490 nm	19402,7 ± 149,3
Li	670,784 nm	0,086 ± 0,016
Mg	280,270 nm	5305,4 ± 31,07
Mn	293,930 nm	17,5 ± 0,044
Mo	202,030 nm	1,05 ± 0,002
Na	589,592 nm	8801,3 ± 43,71
Ni	231,604 nm	1,63 ± 0,013
P	177,495 nm	10101,2 ± 59,40
Pb	220,353 nm	n.n.
S	182,034 nm	3090,5 ± 9,778
Sb	217,581 nm	n.n.
Se	203,985 nm	n.n.
Sr	407,771 nm	1,23 ± 0,001
Ti	337,280 nm	0,185 ± 0,024
Tl	190,856 nm	n.n.
V	292,464 nm	1,53 ± 0,022
W	239,709 nm	n.n.
Zn	206,200 nm	72,1 ± 0,396

37. Klarlauf

Allgemeine Daten		
Trockenmasse	[%]	55,2
Gesamtstickstoff (TN)	[%]	3,02 ± 0,025
Aminostickstoff (AN)	[%]	0,09 ± 0,003
Hydrolysegrad (AN/TN)	[%]	3,11 ± 0,075
Aschegehalt	[%]	16,8

Aminosäuren	frei	gesamt
[g/100 g]		
Alanin	0,05 ± 0,002	0,46 ± 0,005
Asparagin	n.n.	n.n.
Asparaginsäure	n.n.	0,82 ± 0,022
Cystathionin	n.n.	n.n.
Glutaminsäure	n.n.	2,67 ± 0,036
Glycin	n.n.	0,39 ± 0,004
Histidin	n.n.	0,37 ± 0,008
Isoleucin	n.n.	0,21 ± 0,007
Leucin	0,05 ± 0,001	0,51 ± 0,004
Lysin	n.n.	0,39 ± 0,012
Methionin	0,07 ± 0,0001	0,11 ± 0,003
Phenylalanin	0,04 ± 0,003	0,33 ± 0,008
Prolin	0,04 ± 0,004	0,40 ± 0,006
Serin	0,07 ± 0,005	0,50 ± 0,010
Threonin	n.n.	0,36 ± 0,010
Tryptophan	n.n.	n.n.
Tyrosin	0,13 ± 0,004	0,25 ± 0,008
Valin	n.n.	0,42 ± 0,013

Gesamtpolyphenole	
[mg/g]	
nach MEBAK	0,262 ± 0,068
nach Folin-Ciocalteu	8,60 ± 0,190
Flavonoide	1,32 ± 0,033

Kohlenhydrate	
[mg/g]	
Gesamtgehalt	57,8 ± 0,952
Reduzierende Zucker	19,4 ± 0,057

Kohlenhydrate	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Rhamnose	n.n.	n.n.
Arabinose	0,84	0,81 ± 0,180
Galactose	0,79	11,9 ± 0,055
Glucose	2,58	26,4 ± 0,024
Saccharose	n.n.	n.n.
Xylose	n.n.	n.n.
Mannose	n.n.	20,9 ± 0,024
Fructose	0,10	n.n.

Hemmstoffe	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Formiat	172,6	2,74 ± 0,001
Acetat	2,55	2,42 ± 0,015
Lävulinsäure	n.n.	4,62 ± 0,117
Hydroxymethylfurfural	n.n.	0,78 ± 0,043
Furfural	n.n.	0,81 ± 0,006

Fettsäuren	
[mg/g]	
Methyldecanoat (C10:0)	3,26 ± 0,151
Methylpalmitat (C16:0)	0,095 ± 0,014
Methylpalmitoleat (C16:1)	0,944 ± 0,003
Methylstearat (C18:0)	0,341 ± 0,026
Methylelaidinat (C18:1n9tr.)	0,989 ± 0,028
Methylinolelaidat (18:2n6tr.)	0,051 ± 0,001

Lösliche Salze	
[mg/g]	
Natrium	8,34 ± 0,028
Ammonium	n.n.
Kalium	38,2 ± 0,146
Magnesium	n.n.
Calcium	n.n.
Fluorid	11,9 ± 0,013
Chlorid	5,89 ± 0,050
Nitrit	n.n.
Sulfat	1,44 ± 0,000
Nitrat	n.n.
Bromid	3,97 ± 0,003
Phosphat	6,68 ± 0,006

n.n. = nicht nachweisbar; n.b. = nicht bestimmbar,
(relative Standardabweichung >50 %)

Spurenelemente		
[mg/kg]		
Ag	328,068 nm	n.n.
Al	396,152 nm	3,77 ± 0,130
As	189,042 nm	n.n.
B	249,773 nm	7,07 ± 0,024
Ba	455,403 nm	n.n.
Be	234,861 nm	n.n.
Bi	223,061 nm	n.n.
Ca	422,673 nm	1004,5 ± 12,66
Cd	214,438 nm	n.n.
Co	228,616 nm	0,856 ± 0,006
Cr	267,716 nm	0,123 ± 0,001
Cu	324,754 nm	1,99 ± 0,015
Fe	259,940 nm	10,8 ± 0,149
K	766,490 nm	37339,0 ± 485,8
Li	670,784 nm	0,533 ± 0,028
Mg	280,270 nm	210,9 ± 2,028
Mn	293,930 nm	63,0 ± 0,519
Mo	202,030 nm	0,392 ± 0,002
Na	589,592 nm	10176,8 ± 89,27
Ni	231,604 nm	2,72 ± 0,033
P	177,495 nm	1314,2 ± 7,899
Pb	220,353 nm	n.n.
S	182,034 nm	2530,1 ± 26,42
Sb	217,581 nm	n.n.
Se	203,985 nm	n.n.
Sr	407,771 nm	0,925 ± 0,011
Ti	337,280 nm	0,421 ± 0,002
Tl	190,856 nm	n.n.
V	292,464 nm	0,377 ± 0,011
W	239,709 nm	n.n.
Zn	206,200 nm	47,4 ± 0,123

38. Vinasse

Allgemeine Daten		
Trockenmasse	[%]	54,7
Gesamtstickstoff (TN)	[%]	3,03 ± 0,036
Aminostickstoff (AN)	[%]	0,09 ± 0,003
Hydrolysegrad (AN/TN)	[%]	3,11 ± 0,063
Aschegehalt	[%]	16,5

Aminosäuren	frei	gesamt
[g/100 g]		
Alanin	0,05 ± 0,001	0,46 ± 0,006
Asparagin	n.n.	n.n.
Asparaginsäure	n.n.	0,80 ± 0,021
Cystathionin	n.n.	n.n.
Glutaminsäure	n.n.	2,69 ± 0,019
Glycin	n.n.	0,39 ± 0,004
Histidin	n.n.	0,37 ± 0,004
Isoleucin	n.n.	0,20 ± 0,003
Leucin	0,05 ± 0,004	0,51 ± 0,001
Lysin	n.n.	0,40 ± 0,010
Methionin	0,08 ± 0,002	0,10 ± 0,002
Phenylalanin	0,04 ± 0,001	0,33 ± 0,005
Prolin	0,05 ± 0,003	0,40 ± 0,002
Serin	0,07 ± 0,003	0,48 ± 0,005
Threonin	n.n.	0,35 ± 0,011
Tryptophan	n.n.	n.n.
Tyrosin	0,12 ± 0,004	0,25 ± 0,007
Valin	n.n.	0,42 ± 0,0004

Gesamtpolyphenole	
[mg/g]	
nach MEBAK	0,240 ± 0,039
nach Folin-Ciocalteu	2,32 ± 0,016
Flavonoide	1,32 ± 0,031

Kohlenhydrate	
[mg/g]	
Gesamtgehalt	58,0 ± 0,555
Reduzierende Zucker	19,1 ± 0,172

Kohlenhydrate	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Rhamnose	n.n.	n.n.
Arabinose	0,83	0,81 ± 0,042
Galactose	0,80	11,9 ± 0,013
Glucose	2,58	27,0 ± 0,379
Saccharose	n.n.	n.n.
Xylose	n.n.	n.n.
Mannose	n.n.	21,0 ± 0,041
Fructose	0,16	n.n.

Hemmstoffe	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Formiat	173,2	2,79 ± 0,049
Acetat	1,78	2,40 ± 0,033
Lävulinsäure	n.n.	4,67 ± 0,018
Hydroxymethylfurfural	n.n.	0,74 ± 0,037
Furfural	n.n.	0,74 ± 0,112

Vitamine		
Thiamin · HCl	[mg/100 g]	3,70 ± 0,252
Riboflavin	[mg/100 g]	1,52 ± 0,015
Nicotinsäure	[mg/100 g]	10,3 ± 4,738
Ca-Pantothenat	[mg/100 g]	5,01
Pyridoxin · HCl	[mg/100 g]	Min.
Biotin	[µg/100 g]	28,8 ± 0,723
Folsäure	[mg/100 g]	Min.
Cobalamin	[µg/100 g]	7,84 ± 0,081

Fettsäuren	
[mg/g]	
Methyldecanoat (C10:0)	3,33 ± 0,070
Methylpalmitat (C16:0)	0,179 ± 0,001
Methylpalmitoleat (C16:1)	0,920 ± 0,039
Methylstearat (C18:0)	0,239 ± 0,001
Methylelaidinat (C18:1n9tr.)	1,10 ± 0,058
Methyllinolelaidat (18:2n6tr.)	0,101 ± 0,004

Lösliche Salze	
[mg/g]	
Natrium	8,35 ± 0,022
Ammonium	n.n.
Kalium	37,2 ± 0,025
Magnesium	n.n.
Calcium	n.n.
Fluorid	12,0 ± 0,032
Chlorid	5,92 ± 0,013
Nitrit	n.n.
Sulfat	1,44 ± 0,001
Nitrat	n.n.
Bromid	3,97 ± 0,005
Phosphat	6,69 ± 0,036

n.n. = nicht nachweisbar; n.b. = nicht bestimmbar,
(relative Standardabweichung >50 %)

Spurenelemente		
[mg/kg]		
Ag	328,068 nm	n.n.
Al	396,152 nm	3,85 ± 0,197
As	189,042 nm	n.n.
B	249,773 nm	6,99 ± 0,007
Ba	455,403 nm	n.n.
Be	234,861 nm	n.n.
Bi	223,061 nm	n.n.
Ca	422,673 nm	1288,8 ± 8,666
Cd	214,438 nm	n.n.
Co	228,616 nm	0,850 ± 0,003
Cr	267,716 nm	0,173 ± 0,007
Cu	324,754 nm	2,36 ± 0,487
Fe	259,940 nm	10,8 ± 0,010
K	766,490 nm	37735,4 ± 152,9
Li	670,784 nm	0,503 ± 0,027
Mg	280,270 nm	219,7 ± 0,311
Mn	293,930 nm	63,0 ± 0,135
Mo	202,030 nm	0,393 ± 0,013
Na	589,592 nm	10699,1 ± 29,87
Ni	231,604 nm	2,70 ± 0,033
P	177,495 nm	1398,9 ± 7,932
Pb	220,353 nm	n.n.
S	182,034 nm	2265,0 ± 1,065
Sb	217,581 nm	n.n.
Se	203,985 nm	n.n.
Sr	407,771 nm	1,78 ± 0,015
Ti	337,280 nm	0,450 ± 0,003
Tl	190,856 nm	n.n.
V	292,464 nm	0,374 ± 0,011
W	239,709 nm	n.n.
Zn	206,200 nm	47,4 ± 0,090

A.12 Analysendatenblätter der mild chemisch hergestellten Rohstoffhydrolysate

39. Blutprotein

Allgemeine Daten		
Trockenmasse	[%]	98,2
Gesamtstickstoff (TN)	[%]	12,5 ± 0,07
Aminostickstoff (AN)	[%]	2,13 ± 0,08
Hydrolysegrad (AN/TN)	[%]	17,0 ± 0,51
Aschegehalt	[%]	22,8

Aminosäuren	frei	gesamt
[g/100 g]		
Alanin	n.n.	4,75 ± 0,057
Asparagin	n.n.	n.n.
Asparaginsäure	2,53 ± 0,037	11,4 ± 0,415
Cystathionin	n.n.	n.n.
Glutaminsäure	n.n.	4,67 ± 0,121
Glycin	n.n.	2,81 ± 0,028
Histidin	0,36 ± 0,008	4,60 ± 0,130
Isoleucin	n.n.	2,22 ± 0,071
Leucin	0,09 ± 0,003	7,34 ± 0,025
Lysin	0,22 ± 0,009	6,71 ± 0,575
Methionin	0,08 ± 0,005	0,83 ± 0,010
Phenylalanin	0,05 ± 0,002	2,08 ± 0,013
Prolin	0,04 ± 0,003	2,50 ± 0,036
Serin	0,04 ± 0,004	4,36 ± 0,186
Threonin	n.n.	3,06 ± 0,092
Tryptophan	n.n.	n.n.
Tyrosin	0,10 ± 0,004	1,37 ± 0,018
Valin	n.n.	4,55 ± 0,088

Fettsäuren	
[mg/g]	
Methyldecanoat (C10:0)	n.n.
Methylstearat (C18:0)	0,513 ± 0,047

Kohlenhydrate		
[mg/g]		
Gesamtgehalt		4,12 ± 0,275
Reduzierende Zucker		10,6 ± 0,094
Kohlenhydrate	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Rhamnose	n.n.	n.n.
Arabinose	0,83	3,91 ± 0,110
Galactose	n.n.	0,80 ± 0,042
Glucose	2,21	2,94 ± 0,081
Saccharose	n.n.	n.n.
Xylose	n.n.	n.n.
Mannose	n.n.	n.n.
Fructose	n.n.	n.n.
Hemmstoffe	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Formiat	1,39	2,58 ± 0,0004
Acetat	16,7	18,1 ± 0,113
Lävulinsäure	1,11	3,76 ± 0,065
Hydroxymethylfurfural	n.n.	n.n.
Furfural	n.n.	n.n.

Gesamtpolyphenole	
[mg/g]	
nach MEBAK	3,21 ± 0,150
nach Folin-Ciocalteu	14,1 ± 0,269
Flavonoide	0,034 ± 0,003

Lösliche Salze	
[mg/g]	
Natrium	19,1 ± 0,020
Ammonium	n.n.
Kalium	16,1 ± 0,017
Magnesium	1,35 ± 0,040
Calcium	32,6 ± 0,057
Fluorid	2,78 ± 0,004
Chlorid	21,4 ± 0,003
Nitrit	n.n.
Sulfat	125,2 ± 0,264
Nitrat	2,94 ± 0,001
Bromid	n.n.
Phosphat	6,21 ± 0,013

n.n. = nicht nachweisbar; n.b. = nicht bestimmbar,
(relative Standardabweichung >50 %)

Spurenelemente		
[mg/kg]		
Ag	328,068 nm	n.n.
Al	396,152 nm	13,1 ± 0,197
As	189,042 nm	n.n.
B	249,773 nm	3,84 ± 0,012
Ba	455,403 nm	0,139 ± 0,010
Be	234,861 nm	n.n.
Bi	223,061 nm	n.n.
Ca	422,673 nm	38960,8 ± 323,5
Cd	214,438 nm	n.n.
Co	228,616 nm	n.n.
Cr	267,716 nm	0,951 ± 0,029
Cu	324,754 nm	n.n.
Fe	259,940 nm	21,2 ± 0,061
K	766,490 nm	17726,0 ± 26,70
Li	670,784 nm	1,01 ± 0,072
Mg	280,270 nm	3487,4 ± 28,44
Mn	293,930 nm	2,32 ± 0,003
Mo	202,030 nm	n.n.
Na	589,592 nm	22906,0 ± 122,4
Ni	231,604 nm	0,580 ± 0,020
P	177,495 nm	2456,8 ± 11,56
Pb	220,353 nm	n.n.
S	182,034 nm	45066,1 ± 110,7
Sb	217,581 nm	n.n.
Se	203,985 nm	n.n.
Sr	407,771 nm	19,6 ± 0,261
Ti	337,280 nm	0,287 ± 0,002
Tl	190,856 nm	n.n.
V	292,464 nm	1,90 ± 0,021
W	239,709 nm	n.n.
Zn	206,200 nm	7,86 ± 0,021

40. Erdnusskuchenmehl

Allgemeine Daten		
Trockenmasse	[%]	90,2
Gesamtstickstoff (TN)	[%]	4,71 ± 0,02
Aminostickstoff (AN)	[%]	0,68 ± 0,04
Hydrolysegrad (AN/TN)	[%]	14,5 ± 0,73
Aschegehalt	[%]	15,5

Aminosäuren	frei	gesamt
[g/100 g]		
Alanin	n.n.	0,50 ± 0,012
Asparagin	0,13 ± 0,013	n.n.
Asparaginsäure	0,69 ± 0,048	3,39 ± 0,001
Cystathionin	n.n.	n.n.
Glutaminsäure	0,13 ± 0,007	5,13 ± 0,083
Glycin	n.n.	1,80 ± 0,007
Histidin	0,34 ± 0,011	1,09 ± 0,046
Isoleucin	n.n.	0,13 ± 0,010
Leucin	0,04 ± 0,002	1,01 ± 0,010
Lysin	0,20 ± 0,011	1,10 ± 0,048
Methionin	n.n.	0,21 ± 0,004
Phenylalanin	0,19 ± 0,005	0,99 ± 0,012
Prolin	0,06 ± 0,005	1,13 ± 0,015
Serin	0,04 ± 0,010	1,64 ± 0,015
Threonin	n.n.	0,51 ± 0,013
Tryptophan	0,29 ± 0,002	n.n.
Tyrosin	0,12 ± 0,007	0,77 ± 0,020
Valin	n.n.	0,60 ± 0,007

Gesamtpolyphenole	
[mg/g]	
nach MEBAK	1,59 ± 0,106
nach Folin-Ciocalteu	18,0 ± 0,871
Flavonoide	0,742 ± 0,003

Kohlenhydrate	
[mg/g]	
Gesamtgehalt	413,2 ± 11,06
Reduzierende Zucker	325,2 ± 7,221

Kohlenhydrate	frei	Aufschluss
[mg/g]		
nach NREL		
Rhamnose	n.n.	2,17 ± 0,016
Arabinose	27,6	47,3 ± 1,373
Galactose	2,64	24,3 ± 0,545
Glucose	n.n.	n.n.
Saccharose	n.n.	n.n.
Xylose	n.n.	7,86 ± 0,441
Mannose	0,79	0,29 ± 0,018
Fructose	102,6	4,35 ± 0,353

Hemmstoffe	frei	Aufschluss
[mg/g]		
nach NREL		
Formiat	1,38	16,6 ± 0,229
Acetat	9,10	7,39 ± 0,015
Lävulinsäure	n.n.	40,5 ± 0,331
Hydroxymethylfurfural	0,72	7,60 ± 0,352
Furfural	n.n.	5,66 ± 0,081

Fettsäuren	
[mg/g]	
Methyldecanoat (C10:0)	0,086 ± 0,010
Methyltridecanoat (C13:0)	0,406 ± 0,004
Methylstearat (C18:0)	1,54 ± 0,394
Methylinolelaidat (18:2n6tr.)	0,297 ± 0,009

Lösliche Salze	
[mg/g]	
Natrium	0,364 ± 0,001
Ammonium	n.n.
Kalium	25,6 ± 0,257
Magnesium	7,35 ± 0,011
Calcium	14,2 ± 0,008
Fluorid	2,16 ± 0,007
Chlorid	0,794 ± 0,005
Nitrit	1,07 ± 0,006
Sulfat	78,2 ± 0,275
Nitrat	n.n.
Bromid	n.n.
Phosphat	7,08 ± 0,070

n.n. = nicht nachweisbar; n.b. = nicht bestimmbar,
(relative Standardabweichung >50 %)

Spurenelemente		
[mg/kg]		
Ag	328,068 nm	n.n.
Al	396,152 nm	7,37 ± 0,718
As	189,042 nm	n.n.
B	249,773 nm	67,8 ± 0,954
Ba	455,403 nm	0,250 ± 0,011
Be	234,861 nm	n.n.
Bi	223,061 nm	n.n.
Ca	422,673 nm	18121,7 ± 43,76
Cd	214,438 nm	0,266 ± 0,000
Co	228,616 nm	0,358 ± 0,015
Cr	267,716 nm	0,525 ± 0,023
Cu	324,754 nm	6,19 ± 0,058
Fe	259,940 nm	8,87 ± 0,112
K	766,490 nm	27995,7 ± 20,23
Li	670,784 nm	0,621 ± 0,036
Mg	280,270 nm	9677,3 ± 77,38
Mn	293,930 nm	16,2 ± 0,119
Mo	202,030 nm	n.n.
Na	589,592 nm	88,4 ± 2,256
Ni	231,604 nm	35,2 ± 0,373
P	177,495 nm	1923,0 ± 6,404
Pb	220,353 nm	n.n.
S	182,034 nm	29665,6 ± 82,50
Sb	217,581 nm	n.n.
Se	203,985 nm	n.n.
Sr	407,771 nm	11,1 ± 0,251
Ti	337,280 nm	0,722 ± 0,010
Tl	190,856 nm	n.n.
V	292,464 nm	2,74 ± 0,144
W	239,709 nm	n.n.
Zn	206,200 nm	12,2 ± 0,104

41. Federmehl

Allgemeine Daten		
Trockenmasse	[%]	90,9
Gesamtstickstoff (TN)	[%]	12,2 ± 0,05
Aminostickstoff (AN)	[%]	2,50 ± 0,03
Hydrolysegrad (AN/TN)	[%]	20,5 ± 0,15
Aschegehalt	[%]	17,5

Aminosäuren	frei	gesamt
[g/100 g]		
Alanin	0,20 ± 0,007	3,51 ± 0,072
Asparagin	n.n.	n.n.
Asparaginsäure	1,32 ± 0,029	4,92 ± 0,123
Cystathionin	n.n.	n.n.
Glutaminsäure	n.n.	4,82 ± 0,087
Glycin	0,04 ± 0,005	5,66 ± 0,108
Histidin	0,33 ± 0,002	1,01 ± 0,031
Isoleucin	n.n.	2,06 ± 0,053
Leucin	0,11 ± 0,001	4,23 ± 0,070
Lysin	0,23 ± 0,006	1,10 ± 0,060
Methionin	0,08 ± 0,002	0,39 ± 0,008
Phenylalanin	0,06 ± 0,002	2,60 ± 0,027
Prolin	0,12 ± 0,008	6,32 ± 0,081
Serin	0,09 ± 0,010	7,41 ± 0,170
Threonin	n.n.	2,53 ± 0,076
Tryptophan	0,28 ± 0,005	n.n.
Tyrosin	0,13 ± 0,001	1,44 ± 0,044
Valin	0,08 ± 0,001	3,59 ± 0,068

Fettsäuren	
[mg/g]	
Methyldecanoat (C10:0)	0,526 ± 0,028
Methylstearat (C18:0)	0,121 ± 0,058

Kohlenhydrate	
[mg/g]	
Gesamtgehalt	5,73 ± 0,159
Reduzierende Zucker	27,9 ± 0,745

Kohlenhydrate	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Rhamnose	n.n.	n.n.
Arabinose	2,32	5,66 ± 0,020
Galactose	0,16	0,58 ± 0,009
Glucose	2,25	6,06 ± 0,177
Saccharose	n.n.	n.n.
Xylose	n.n.	0,42 ± 0,008
Mannose	n.n.	n.n.
Fructose	n.n.	n.n.

Hemmstoffe	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Formiat	7,88	4,11 ± 0,135
Acetat	67,9	83,2 ± 2,212
Lävulinsäure	3,14	n.n.
Hydroxymethylfurfural	n.n.	n.n.
Furfural	n.n.	n.n.

Gesamtpolyphenole	
[mg/g]	
nach MEBAK	1,24 ± 0,040
nach Folin-Ciocalteu	20,0 ± 0,769
Flavonoide	0,024 ± 0,000

Lösliche Salze	
[mg/g]	
Natrium	6,13 ± 0,038
Ammonium	16,0 ± 0,161
Kalium	9,24 ± 0,030
Magnesium	1,40 ± 0,097
Calcium	34,7 ± 0,163
Fluorid	7,28 ± 0,025
Chlorid	8,59 ± 0,005
Nitrit	n.n.
Sulfat	66,5 ± 0,099
Nitrat	3,92 ± 0,003
Bromid	n.n.
Phosphat	6,28 ± 0,025

n.n. = nicht nachweisbar; n.b. = nicht bestimmbar,
(relative Standardabweichung >50 %)

Spurenelemente		
[mg/kg]		
Ag	328,068 nm	n.n.
Al	396,152 nm	2,30 ± 0,418
As	189,042 nm	n.n.
B	249,773 nm	10,6 ± 0,052
Ba	455,403 nm	0,219 ± 0,008
Be	234,861 nm	n.n.
Bi	223,061 nm	n.n.
Ca	422,673 nm	40476,9 ± 375,7
Cd	214,438 nm	n.n.
Co	228,616 nm	n.n.
Cr	267,716 nm	0,753 ± 0,011
Cu	324,754 nm	0,385 ± 0,116
Fe	259,940 nm	7,13 ± 0,029
K	766,490 nm	10219,5 ± 88,81
Li	670,784 nm	1,53 ± 0,015
Mg	280,270 nm	4074,8 ± 24,51
Mn	293,930 nm	19,3 ± 0,152
Mo	202,030 nm	n.n.
Na	589,592 nm	7761,2 ± 48,73
Ni	231,604 nm	0,961 ± 0,007
P	177,495 nm	494,3 ± 2,993
Pb	220,353 nm	n.n.
S	182,034 nm	29754,4 ± 25,84
Sb	217,581 nm	n.n.
Se	203,985 nm	n.n.
Sr	407,771 nm	41,1 ± 0,257
Ti	337,280 nm	0,320 ± 0,007
Tl	190,856 nm	n.n.
V	292,464 nm	2,26 ± 0,015
W	239,709 nm	n.n.
Zn	206,200 nm	18,8 ± 0,015

42. Fischmehl

Allgemeine Daten		
Trockenmasse	[%]	97,3
Gesamtstickstoff (TN)	[%]	11,5 ± 0,02
Aminostickstoff (AN)	[%]	2,77 ± 0,07
Hydrolysegrad (AN/TN)	[%]	24,0 ± 0,57
Aschegehalt	[%]	30,1

Aminosäuren	frei	gesamt
[g/100 g]		
Alanin	0,72 ± 0,005	4,59 ± 0,023
Asparagin	n.n.	n.n.
Asparaginsäure	1,42 ± 0,005	5,96 ± 0,162
Cystathionin	n.n.	n.n.
Glutaminsäure	0,07 ± 0,027	7,48 ± 0,347
Glycin	0,32 ± 0,006	9,00 ± 0,146
Histidin	0,40 ± 0,007	1,44 ± 0,018
Isoleucin	0,16 ± 0,009	1,17 ± 0,027
Leucin	0,54 ± 0,006	2,99 ± 0,023
Lysin	0,33 ± 0,015	3,04 ± 0,128
Methionin	0,19 ± 0,005	1,29 ± 0,029
Phenylalanin	0,24 ± 0,002	1,52 ± 0,024
Prolin	0,23 ± 0,003	5,55 ± 0,087
Serin	0,13 ± 0,009	3,34 ± 0,106
Threonin	0,12 ± 0,012	2,33 ± 0,095
Tryptophan	n.n.	n.n.
Tyrosin	0,17 ± 0,006	0,88 ± 0,006
Valin	0,45 ± 0,003	2,38 ± 0,039

Fettsäuren	
[mg/g]	
Methyldecanoat (C10:0)	0,802 ± 0,027
Methylstearat (C18:0)	0,085 ± 0,037

Kohlenhydrate	
[mg/g]	
Gesamtgehalt	21,5 ± 0,210
Reduzierende Zucker	23,1 ± 0,344

Kohlenhydrate	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Rhamnose	n.n.	n.n.
Arabinose	0,77	3,70 ± 0,048
Galactose	0,10	1,25 ± 0,112
Glucose	4,00	11,5 ± 0,021
Saccharose	n.n.	n.n.
Xylose	n.n.	n.n.
Mannose	n.n.	n.n.
Fructose	2,15	n.n.

Hemmstoffe	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Formiat	2,75	4,06 ± 0,044
Acetat	14,0	15,8 ± 0,432
Lävulinsäure	0,73	3,24 ± 0,137
Hydroxymethylfurfural	0,12	0,84 ± 0,012
Furfural	n.n.	n.n.

Gesamtpolyphenole	
[mg/g]	
nach MEBAK	1,15 ± 0,069
nach Folin-Ciocalteu	12,4 ± 0,038
Flavonoide	0,040 ± 0,002

Lösliche Salze	
[mg/g]	
Natrium	47,1 ± 0,057
Ammonium	n.n.
Kalium	21,6 ± 0,106
Magnesium	2,26 ± 0,010
Calcium	27,2 ± 0,270
Fluorid	4,68 ± 0,000
Chlorid	66,7 ± 0,117
Nitrit	n.n.
Sulfat	93,3 ± 0,211
Nitrat	2,94 ± 0,000
Bromid	n.n.
Phosphat	6,47 ± 0,029

n.n. = nicht nachweisbar; n.b. = nicht bestimmbar,
(relative Standardabweichung >50 %)

Spurenelemente		
[mg/kg]		
Ag	328,068 nm	n.n.
Al	396,152 nm	n.n.
As	189,042 nm	12,1 ± 0,078
B	249,773 nm	4,30 ± 0,030
Ba	455,403 nm	n.n.
Be	234,861 nm	n.n.
Bi	223,061 nm	n.n.
Ca	422,673 nm	29154,8 ± 620,6
Cd	214,438 nm	n.n.
Co	228,616 nm	n.n.
Cr	267,716 nm	0,391 ± 0,024
Cu	324,754 nm	0,677 ± 0,011
Fe	259,940 nm	4,87 ± 0,146
K	766,490 nm	22916,9 ± 607,2
Li	670,784 nm	2,19 ± 0,045
Mg	280,270 nm	3713,2 ± 105,1
Mn	293,930 nm	0,285 ± 0,008
Mo	202,030 nm	n.n.
Na	589,592 nm	52097,0 ± 1339,2
Ni	231,604 nm	0,806 ± 0,005
P	177,495 nm	1691,1 ± 37,00
Pb	220,353 nm	0,171 ± 0,006
S	182,034 nm	39774,6 ± 821,9
Sb	217,581 nm	n.n.
Se	203,985 nm	0,247 ± 0,116
Sr	407,771 nm	32,7 ± 0,205
Ti	337,280 nm	0,541 ± 0,019
Tl	190,856 nm	n.n.
V	292,464 nm	2,30 ± 0,003
W	239,709 nm	n.n.
Zn	206,200 nm	6,02 ± 0,050

43. Fleischknochenmehl

Allgemeine Daten		
Trockenmasse	[%]	98,3
Gesamtstickstoff (TN)	[%]	14,2 ± 0,03
Aminostickstoff (AN)	[%]	1,13 ± 0,04
Hydrolysegrad (AN/TN)	[%]	7,96 ± 0,28
Aschegehalt	[%]	13,6

Aminosäuren	frei	gesamt
[g/100 g]		
Alanin	0,15 ± 0,003	6,10 ± 0,163
Asparagin	n.n.	n.n.
Asparaginsäure	0,84 ± 0,009	5,60 ± 0,112
Cystathionin	n.n.	n.n.
Glutaminsäure	0,07 ± 0,005	7,27 ± 0,344
Glycin	0,08 ± 0,0001	15,2 ± 0,139
Histidin	0,34 ± 0,004	1,59 ± 0,002
Isoleucin	n.n.	0,82 ± 0,006
Leucin	0,11 ± 0,006	2,71 ± 0,011
Lysin	0,23 ± 0,003	3,14 ± 0,173
Methionin	0,07 ± 0,001	0,74 ± 0,002
Phenylalanin	0,07 ± 0,002	1,74 ± 0,043
Prolin	0,07 ± 0,005	10,8 ± 0,193
Serin	0,06 ± 0,002	3,24 ± 0,055
Threonin	n.n.	1,95 ± 0,025
Tryptophan	n.n.	n.n.
Tyrosin	0,13 ± 0,002	0,82 ± 0,014
Valin	0,09 ± 0,014	2,18 ± 0,019

Fettsäuren	
[mg/g]	
Methylcapronat (C6:0)	0,494 ± 0,012
Methyldecanoat (C10:0)	0,481 ± 0,027
Methylstearat (C18:0)	1,11 ± 0,249

Kohlenhydrate	
[mg/g]	
Gesamtgehalt	28,6 ± 1,352
Reduzierende Zucker	14,1 ± 0,172

Kohlenhydrate	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Rhamnose	n.n.	n.n.
Arabinose	1,05	3,56 ± 0,028
Galactose	0,07	1,08 ± 0,003
Glucose	2,84	15,2 ± 0,501
Saccharose	n.n.	n.n.
Xylose	n.n.	n.n.
Mannose	n.n.	n.n.
Fructose	n.n.	n.n.

Hemmstoffe	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Formiat	1,66	6,11 ± 0,238
Acetat	4,89	5,41 ± 0,564
Lävulinsäure	0,27	n.n.
Hydroxymethylfurfural	0,13	0,49 ± 0,016
Furfural	n.n.	0,36 ± 0,076

Vitamine		
Thiamin · HCl	[mg/100 g]	2,43
Riboflavin	[mg/100 g]	1,33 ± 0,000
Nicotinsäure	[mg/100 g]	30,5
Ca-Pantothenat	[mg/100 g]	6,82
Pyridoxin	[mg/100 g]	
HCl		1,47
Biotin	[µg/100 g]	13,7
Folsäure	[mg/100 g]	Min.
Cobalamin	[µg/100 g]	8,14
Inositol	[mg/100 g]	670,0

Gesamtpolyphenole	
[mg/g]	
nach MEBAK	1,66 ± 0,040
nach Folin-Ciocalteu	8,46 ± 0,112
Flavonoide	0,077 ± 0,002

Lösliche Salze	
[mg/g]	
Natrium	20,6 ± 0,102
Ammonium	n.n.
Kalium	12,7 ± 0,028
Magnesium	3,17 ± 0,015
Calcium	8,23 ± 0,318
Fluorid	4,55 ± 0,020
Chlorid	16,7 ± 0,066
Nitrit	1,08 ± 0,001
Sulfat	53,0 ± 0,136
Nitrat	n.n.
Bromid	2,10 ± 0,002
Phosphat	7,04 ± 0,009

n.n. = nicht nachweisbar; n.b. = nicht bestimmbar,
(relative Standardabweichung >50 %)

Spurenelemente		
[mg/kg]		
Ag	328,068 nm	n.n.
Al	396,152 nm	3,43 ± 0,353
As	189,042 nm	n.n.
B	249,773 nm	2,46 ± 0,051
Ba	455,403 nm	0,230 ± 0,008
Be	234,861 nm	n.n.
Bi	223,061 nm	n.n.
Ca	422,673 nm	12226,7 ± 55,08
Cd	214,438 nm	n.n.
Co	228,616 nm	n.n.
Cr	267,716 nm	0,647 ± 0,000
Cu	324,754 nm	0,474 ± 0,014
Fe	259,940 nm	13,5 ± 0,064
K	766,490 nm	13150,4 ± 132,7
Li	670,784 nm	1,07 ± 0,007
Mg	280,270 nm	4621,0 ± 40,63
Mn	293,930 nm	n.n.
Mo	202,030 nm	0,128 ± 0,004
Na	589,592 nm	22821,2 ± 230,6
Ni	231,604 nm	0,760 ± 0,018
P	177,495 nm	1492,2 ± 11,23
Pb	220,353 nm	n.n.
S	182,034 nm	21959,5 ± 55,01
Sb	217,581 nm	n.n.
Se	203,985 nm	n.n.
Sr	407,771 nm	10,8 ± 0,170
Ti	337,280 nm	0,498 ± 0,013
Tl	190,856 nm	n.n.
V	292,464 nm	2,21 ± 0,013
W	239,709 nm	n.n.
Zn	206,200 nm	1,17 ± 0,059

44. Geflügelprotein

Allgemeine Daten		
Trockenmasse	[%]	99,1
Gesamtstickstoff (TN)	[%]	13,4 ± 0,27
Aminostickstoff (AN)	[%]	2,17 ± 0,04
Hydrolysegrad (AN/TN)	[%]	16,2 ± 0,02
Aschegehalt	[%]	16,5

Aminosäuren	frei	gesamt
[g/100 g]		
Alanin	0,44 ± 0,013	5,86 ± 0,078
Asparagin	n.n.	n.n.
Asparaginsäure	0,97 ± 0,035	5,89 ± 0,037
Cystathionin	n.n.	n.n.
Glutaminsäure	0,26 ± 0,009	8,19 ± 0,259
Glycin	0,26 ± 0,008	13,2 ± 0,199
Histidin	0,38 ± 0,003	1,31 ± 0,034
Isoleucin	0,10 ± 0,013	1,26 ± 0,017
Leucin	0,47 ± 0,008	3,16 ± 0,018
Lysin	0,41 ± 0,009	3,37 ± 0,006
Methionin	0,18 ± 0,007	0,97 ± 0,009
Phenylalanin	0,24 ± 0,012	1,87 ± 0,021
Prolin	0,27 ± 0,007	9,31 ± 0,119
Serin	0,25 ± 0,011	2,88 ± 0,029
Threonin	0,17 ± 0,012	2,34 ± 0,025
Tryptophan	0,30 ± 0,005	n.n.
Tyrosin	0,28 ± 0,002	0,98 ± 0,036
Valin	0,27 ± 0,003	2,30 ± 0,016

Fettsäuren	
[mg/g]	
Methyldecanoat (C10:0)	0,479 ± 0,029
Methylstearat (C18:0)	n.n.

Kohlenhydrate	
[mg/g]	
Gesamtgehalt	12,0 ± 0,555
Reduzierende Zucker	12,5 ± 0,229

Kohlenhydrate	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Rhamnose	n.n.	n.n.
Arabinose	1,44	4,35 ± 0,012
Galactose	0,09	3,36 ± 0,006
Glucose	2,27	5,24 ± 1,271
Saccharose	n.n.	n.n.
Xylose	n.n.	n.n.
Mannose	n.n.	n.n.
Fructose	n.n.	n.n.

Hemmstoffe	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Formiat	5,49	1,11 ± 0,008
Acetat	5,56	7,61 ± 0,075
Lävulinsäure	0,39	n.n.
Hydroxymethylfurfural	n.n.	n.n.
Furfural	0,17	0,84 ± 0,085

Gesamtpolyphenole	
[mg/g]	
nach MEBAK	1,36 ± 0,069
nach Folin-Ciocalteu	13,2 ± 0,600
Flavonoide	0,101 ± 0,003

Lösliche Salze	
[mg/g]	
Natrium	12,8 ± 0,041
Ammonium	n.n.
Kalium	20,2 ± 0,063
Magnesium	1,38 ± 0,061
Calcium	15,6 ± 0,333
Fluorid	5,54 ± 0,011
Chlorid	14,8 ± 0,043
Nitrit	1,05 ± 0,010
Sulfat	75,8 ± 0,020
Nitrat	n.n.
Bromid	2,10 ± 0,004
Phosphat	6,90 ± 0,015

n.n. = nicht nachweisbar; n.b. = nicht bestimmbar,
(relative Standardabweichung >50 %)

Spurenelemente		
[mg/kg]		
Ag	328,068 nm	n.n.
Al	396,152 nm	1,63 ± 0,765
As	189,042 nm	n.n.
B	249,773 nm	2,17 ± 0,022
Ba	455,403 nm	0,119 ± 0,008
Be	234,861 nm	n.n.
Bi	223,061 nm	n.n.
Ca	422,673 nm	22594,4 ± 240,0
Cd	214,438 nm	n.n.
Co	228,616 nm	n.n.
Cr	267,716 nm	0,559 ± 0,025
Cu	324,754 nm	0,305 ± 0,077
Fe	259,940 nm	3,46 ± 0,147
K	766,490 nm	21989,6 ± 205,6
Li	670,784 nm	0,936 ± 0,060
Mg	280,270 nm	3719,4 ± 19,04
Mn	293,930 nm	0,106 ± 0,005
Mo	202,030 nm	0,107 ± 0,006
Na	589,592 nm	16160,6 ± 108,3
Ni	231,604 nm	1,74 ± 0,001
P	177,495 nm	2146,0 ± 6,507
Pb	220,353 nm	n.n.
S	182,034 nm	31467,8 ± 204,5
Sb	217,581 nm	n.n.
Se	203,985 nm	n.n.
Sr	407,771 nm	7,27 ± 0,055
Ti	337,280 nm	0,499 ± 0,085
Tl	190,856 nm	n.n.
V	292,464 nm	2,01 ± 0,024
W	239,709 nm	n.n.
Zn	206,200 nm	1,55 ± 0,570

45. Glutamin 68,9 % Protein

Allgemeine Daten		
Trockenmasse	[%]	91,8
Gesamtstickstoff (TN)	[%]	10,8 ± 0,03
Aminostickstoff (AN)	[%]	3,51 ± 0,09
Hydrolysegrad (AN/TN)	[%]	32,4 ± 0,78
Aschegehalt	[%]	16,8

Aminosäuren	frei	gesamt
[g/100 g]		
Alanin	0,74 ± 0,005	3,92 ± 0,114
Asparagin	n.n.	n.n.
Asparaginsäure	2,37 ± 0,057	4,99 ± 0,111
Cystathionin	n.n.	n.n.
Glutaminsäure	5,46 ± 0,462	15,6 ± 0,365
Glycin	0,07 ± 0,003	1,64 ± 0,032
Histidin	0,34 ± 0,005	1,40 ± 0,045
Isoleucin	n.n.	1,13 ± 0,025
Leucin	0,13 ± 0,001	2,39 ± 0,063
Lysin	0,23 ± 0,003	1,90 ± 0,046
Methionin	0,08 ± 0,001	0,57 ± 0,018
Phenylalanin	0,08 ± 0,001	1,22 ± 0,040
Prolin	0,15 ± 0,003	2,01 ± 0,048
Serin	0,14 ± 0,003	1,82 ± 0,057
Threonin	0,02 ± 0,004	2,10 ± 0,013
Tryptophan	n.n.	n.n.
Tyrosin	0,16 ± 0,023	0,95 ± 0,044
Valin	0,07 ± 0,002	2,01 ± 0,020

Fettsäuren	
[mg/g]	
Methyldecanoat (C10:0)	2,87 ± 0,171
Methylstearat (C18:0)	1,24 ± 0,047

Kohlenhydrate	
[mg/g]	
Gesamtgehalt	56,9 ± 0,691
Reduzierende Zucker	122,8 ± 0,803

Kohlenhydrate	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Rhamnose	3,59	n.n.
Arabinose	15,6	8,04 ± 0,055
Galactose	9,33	5,03 ± 0,008
Glucose	5,54	10,3 ± 0,008
Saccharose	7,10	n.n.
Xylose	1,23	n.n.
Mannose	3,05	9,66 ± 0,036
Fructose	0,97	n.n.

Hemmstoffe	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Formiat	8,19	4,79 ± 0,228
Acetat	12,2	18,9 ± 0,418
Lävulinsäure	1,63	3,67 ± 0,044
Hydroxymethylfurfural	0,19	1,94 ± 0,103
Furfural	0,52	3,81 ± 0,178

Gesamtpolyphenole	
[mg/g]	
nach MEBAK	1,68 ± 0,040
nach Folin-Ciocalteu	21,1 ± 0,465
Flavonoide	0,190 ± 0,004

Lösliche Salze	
[mg/g]	
Natrium	6,72 ± 0,029
Ammonium	26,2 ± 0,010
Kalium	13,0 ± 0,091
Magnesium	2,03 ± 0,039
Calcium	30,0 ± 0,144
Fluorid	10,5 ± 0,010
Chlorid	3,93 ± 0,010
Nitrit	n.n.
Sulfat	80,3 ± 0,416
Nitrat	n.n.
Bromid	2,16 ± 0,000
Phosphat	6,56 ± 0,000

n.n. = nicht nachweisbar; n.b. = nicht bestimmbar,
(relative Standardabweichung >50 %)

Spurenelemente		
[mg/kg]		
Ag	328,068 nm	n.n.
Al	396,152 nm	7,82 ± 0,993
As	189,042 nm	n.n.
B	249,773 nm	4,94 ± 0,062
Ba	455,403 nm	0,576 ± 0,017
Be	234,861 nm	n.n.
Bi	223,061 nm	n.n.
Ca	422,673 nm	34474,5 ± 499,9
Cd	214,438 nm	0,152 ± 0,001
Co	228,616 nm	0,302 ± 0,002
Cr	267,716 nm	1,03 ± 0,069
Cu	324,754 nm	3,30 ± 0,031
Fe	259,940 nm	30,1 ± 0,398
K	766,490 nm	13862,1 ± 37,20
Li	670,784 nm	1,38 ± 0,031
Mg	280,270 nm	3563,5 ± 46,12
Mn	293,930 nm	19,8 ± 0,073
Mo	202,030 nm	0,126 ± 0,011
Na	589,592 nm	8188,1 ± 10,96
Ni	231,604 nm	1,38 ± 0,022
P	177,495 nm	1673,3 ± 8,444
Pb	220,353 nm	0,144 ± 0,042
S	182,034 nm	29057,4 ± 211,6
Sb	217,581 nm	n.n.
Se	203,985 nm	n.n.
Sr	407,771 nm	27,9 ± 0,780
Ti	337,280 nm	1,10 ± 0,180
Tl	190,856 nm	n.n.
V	292,464 nm	2,22 ± 0,099
W	239,709 nm	n.n.
Zn	206,200 nm	18,2 ± 0,226

46. Gluvital™

Allgemeine Daten		
Trockenmasse	[%]	91,9
Gesamtstickstoff (TN)	[%]	9,95 ± 0,05
Aminostickstoff (AN)	[%]	3,18 ± 0,07
Hydrolysegrad (AN/TN)	[%]	32,0 ± 0,51
Aschegehalt	[%]	6,49

Aminosäuren	frei	gesamt
[g/100 g]		
Alanin	n.n.	1,08 ± 0,018
Asparagin	n.n.	n.n.
Asparaginsäure	1,18 ± 0,037	2,57 ± 0,040
Cystathionin	n.n.	n.n.
Glutaminsäure	n.n.	12,6 ± 0,907
Glycin	n.n.	2,44 ± 0,007
Histidin	n.n.	1,48 ± 0,019
Isoleucin	n.n.	0,64 ± 0,012
Leucin	0,05 ± 0,007	2,22 ± 0,032
Lysin	0,19 ± 0,002	1,33 ± 0,053
Methionin	0,08 ± 0,003	0,45 ± 0,011
Phenylalanin	0,05 ± 0,002	1,65 ± 0,051
Prolin	0,07 ± 0,004	5,91 ± 0,059
Serin	0,05 ± 0,007	2,70 ± 0,091
Threonin	n.n.	1,46 ± 0,020
Tryptophan	n.n.	n.n.
Tyrosin	0,11 ± 0,001	1,40 ± 0,025
Valin	n.n.	1,60 ± 0,020

Fettsäuren	
[mg/g]	
Methyldecanoat (C10:0)	0,156 ± 0,013
Methylstearat (C18:0)	1,13 ± 0,326

Kohlenhydrate	
[mg/g]	
Gesamtgehalt	330,9 ± 3,714
Reduzierende Zucker	263,9 ± 2,406

Kohlenhydrate	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Rhamnose	n.n.	n.n.
Arabinose	14,8	11,9 ± 0,879
Galactose	5,11	9,19 ± 0,801
Glucose	n.n.	n.n.
Saccharose	n.n.	n.n.
Xylose	17,3	6,85 ± 1,178
Mannose	n.n.	0,52 ± 0,223
Fructose	29,6	7,88 ± 0,746

Hemmstoffe	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Formiat	8,22	5,72 ± 0,014
Acetat	1,85	0,77 ± 0,022
Lävulinsäure	0,16	8,61 ± 0,063
Hydroxymethylfurfural	1,18	3,64 ± 0,077
Furfural	0,60	3,40 ± 0,268

Gesamtpolyphenole	
[mg/g]	
nach MEBAK	1,20 ± 0,080
nach Folin-Ciocalteu	14,1 ± 0,410
Flavonoide	0,107 ± 0,002

Lösliche Salze	
[mg/g]	
Natrium	1,01 ± 0,009
Ammonium	48,2 ± 0,158
Kalium	4,44 ± 0,009
Magnesium	0,882 ± 0,006
Calcium	10,7 ± 0,183
Fluorid	1,49 ± 0,003
Chlorid	1,63 ± 0,002
Nitrit	n.n.
Sulfat	121,9 ± 0,043
Nitrat	n.n.
Bromid	n.n.
Phosphat	6,66 ± 0,008

n.n. = nicht nachweisbar; n.b. = nicht bestimmbar,
(relative Standardabweichung >50 %)

Spurenelemente		
[mg/kg]		
Ag	328,068 nm	n.n.
Al	396,152 nm	3,00 ± 0,460
As	189,042 nm	n.n.
B	249,773 nm	2,90 ± 0,043
Ba	455,403 nm	0,416 ± 0,008
Be	234,861 nm	n.n.
Bi	223,061 nm	n.n.
Ca	422,673 nm	15227,0 ± 163,2
Cd	214,438 nm	0,124 ± 0,001
Co	228,616 nm	n.n.
Cr	267,716 nm	0,502 ± 0,087
Cu	324,754 nm	7,77 ± 0,013
Fe	259,940 nm	7,29 ± 0,428
K	766,490 nm	4379,5 ± 48,43
Li	670,784 nm	0,538 ± 0,009
Mg	280,270 nm	1911,7 ± 1,925
Mn	293,930 nm	19,5 ± 0,048
Mo	202,030 nm	0,411 ± 0,013
Na	589,592 nm	698,3 ± 7,542
Ni	231,604 nm	0,344 ± 0,038
P	177,495 nm	1225,4 ± 6,363
Pb	220,353 nm	n.n.
S	182,034 nm	42689,9 ± 17,74
Sb	217,581 nm	n.n.
Se	203,985 nm	n.n.
Sr	407,771 nm	7,80 ± 0,007
Ti	337,280 nm	0,622 ± 0,164
Tl	190,856 nm	n.n.
V	292,464 nm	1,31 ± 0,014
W	239,709 nm	n.n.
Zn	206,200 nm	27,4 ± 0,118

47. Gluvital™ (neutralisiert mit NaOH)

Allgemeine Daten		
Trockenmasse	[%]	95,8
Gesamtstickstoff (TN)	[%]	10,3 ± 0,09
Aminostickstoff (AN)	[%]	1,35 ± 0,01
Hydrolysegrad (AN/TN)	[%]	13,1 ± 0,03
Aschegehalt	[%]	16,3

Aminosäuren	frei	gesamt
[g/100 g]		
Alanin	n.n.	1,23 ± 0,005
Asparagin	n.n.	n.n.
Asparaginsäure	0,64 ± 0,018	2,23 ± 0,038
Cystathionin	n.n.	n.n.
Glutaminsäure	n.n.	18,7 ± 0,801
Glycin	n.n.	2,10 ± 0,008
Histidin	n.n.	1,50 ± 0,017
Isoleucin	n.n.	1,59 ± 0,032
Leucin	0,04 ± 0,001	3,71 ± 0,020
Lysin	0,20 ± 0,002	1,04 ± 0,066
Methionin	0,08 ± 0,002	0,63 ± 0,018
Phenylalanin	0,04 ± 0,001	2,90 ± 0,013
Prolin	0,04 ± 0,004	9,08 ± 0,082
Serin	0,03 ± 0,003	2,95 ± 0,012
Threonin	n.n.	1,56 ± 0,010
Tryptophan	0,29 ± 0,002	n.n.
Tyrosin	0,10 ± 0,004	1,69 ± 0,018
Valin	n.n.	2,17 ± 0,028

Gesamtpolyphenole	
[mg/g]	
nach MEBAK	0,194 ± 0,068
nach Folin-Ciocalteu	5,43 ± 0,130
Flavonoide	0,202 ± 0,000

Kohlenhydrate	
[mg/g]	
Gesamtgehalt	196,8 ± 1,039
Reduzierende Zucker	138,0 ± 0,458

Kohlenhydrate	frei	Aufschluss
[mg/g] nach NREL		
Rhamnose	n.n.	n.n.
Arabinose	7,61	9,83 ± 0,069
Galactose	1,87	7,10 ± 0,171
Glucose	16,7	131,1 ± 3,550
Saccharose	n.n.	n.n.
Xylose	1,09	2,85 ± 0,181
Mannose	n.n.	n.n.
Fructose	12,3	n.n.

Hemmstoffe	frei	Aufschluss
[mg/g] nach NREL		
Formiat	0,75	4,35 ± 0,035
Acetat	1,50	0,94 ± 0,0004
Lävulinsäure	0,04	8,04 ± 0,337
Hydroxymethylfurfural	0,58	2,81 ± 0,156
Furfural	0,19	1,85 ± 0,047

Fettsäuren	
[mg/g]	
Methylcapronat (C6:0)	0,220 ± 0,0001
Methyldecanoat (C10:0)	0,046 ± 0,002
Methylpalmitat (C16:0)	2,44 ± 0,057
Methylstearat (C18:0)	0,300 ± 0,081
Methylelaidinat (C18:1n9tr.)	0,745 ± 0,044
Methylinoelaidat (C18:2n6tr.)	8,21 ± 0,200
Methylinoelait (C18:3n3)	0,099 ± 0,003

Lösliche Salze	
[mg/g]	
Natrium	47,2 ± 0,019
Ammonium	18,2 ± 0,042
Kalium	2,85 ± 0,009
Magnesium	0,071 ± 0,007
Calcium	n.n.
Fluorid	1,02 ± 0,001
Chlorid	1,28 ± 0,005
Nitrit	n.n.
Sulfat	110,2 ± 0,168
Nitrat	n.n.
Bromid	2,13 ± 0,001
Phosphat	9,00 ± 0,039

n.n. = nicht nachweisbar; n.b. = nicht bestimmbar,
(relative Standardabweichung >50 %)

Spurenelemente		
[mg/kg]		
Ag	328,068 nm	n.n.
Al	396,152 nm	2,35 ± 0,213
As	189,042 nm	n.n.
B	249,773 nm	1,09 ± 0,017
Ba	455,403 nm	2,44 ± 0,006
Be	234,861 nm	n.n.
Bi	223,061 nm	n.n.
Ca	422,673 nm	626,9 ± 10,48
Cd	214,438 nm	n.n.
Co	228,616 nm	n.n.
Cr	267,716 nm	0,349 ± 0,022
Cu	324,754 nm	3,10 ± 0,017
Fe	259,940 nm	25,6 ± 0,136
K	766,490 nm	3797,7 ± 28,54
Li	670,784 nm	n.n.
Mg	280,270 nm	646,8 ± 2,956
Mn	293,930 nm	20,3 ± 0,138
Mo	202,030 nm	0,757 ± 0,003
Na	589,592 nm	53149,1 ± 8,976
Ni	231,604 nm	0,238 ± 0,004
P	177,495 nm	2050,3 ± 8,753
Pb	220,353 nm	n.n.
S	182,034 nm	40006,3 ± 7,309
Sb	217,581 nm	n.n.
Se	203,985 nm	n.n.
Sr	407,771 nm	3,14 ± 0,018
Ti	337,280 nm	0,489 ± 0,126
Tl	190,856 nm	n.n.
V	292,464 nm	0,643 ± 0,007
W	239,709 nm	n.n.
Zn	206,200 nm	42,6 ± 0,302

48. Griebenmehl

Allgemeine Daten		
Trockenmasse	[%]	97,2
Gesamtstickstoff (TN)	[%]	15,0 ± 0,04
Aminostickstoff (AN)	[%]	1,35 ± 0,01
Hydrolysegrad (AN/TN)	[%]	8,94 ± 0,03
Aschegehalt	[%]	19,8

Aminosäuren	frei	gesamt
[g/100 g]		
Alanin	0,06 ± 0,012	6,55 ± 0,198
Asparagin	n.n.	n.n.
Asparaginsäure	0,95 ± 0,015	6,09 ± 0,117
Cystathionin	n.n.	n.n.
Glutaminsäure	n.n.	7,77 ± 0,536
Glycin	0,08 ± 0,001	17,2 ± 0,051
Histidin	0,34 ± 0,001	1,68 ± 0,041
Isoleucin	n.n.	1,04 ± 0,009
Leucin	0,07 ± 0,001	2,95 ± 0,031
Lysin	0,22 ± 0,008	3,43 ± 0,088
Methionin	0,08 ± 0,001	0,84 ± 0,008
Phenylalanin	0,05 ± 0,001	1,83 ± 0,050
Prolin	0,06 ± 0,005	12,2 ± 0,127
Serin	0,03 ± 0,007	3,72 ± 0,056
Threonin	n.n.	2,10 ± 0,034
Tryptophan	n.n.	n.n.
Tyrosin	0,11 ± 0,005	0,94 ± 0,019
Valin	0,02 ± 0,003	2,28 ± 0,027

Fettsäuren	
[mg/g]	
Methylcapronat (C6:0)	0,243 ± 0,022
Methyldecanoat (C10:0)	0,684 ± 0,086
Methylstearat (C18:0)	1,06 ± 0,044

Kohlenhydrate	
[mg/g]	
Gesamtgehalt	6,22 ± 0,159
Reduzierende Zucker	11,4 ± 0,057

Kohlenhydrate	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Rhamnose	n.n.	n.n.
Arabinose	0,71	3,39 ± 0,013
Galactose	0,14	1,34 ± 0,005
Glucose	2,23	4,00 ± 0,061
Saccharose	n.n.	n.n.
Xylose	n.n.	n.n.
Mannose	n.n.	n.n.
Fructose	n.n.	n.n.

Hemmstoffe	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Formiat	7,22	n.n.
Acetat	4,63	5,66 ± 0,117
Lävulinsäure	0,77	n.n.
Hydroxymethylfurfural	n.n.	n.n.
Furfural	n.n.	n.n.

Gesamtpolyphenole	
[mg/g]	
nach MEBAK	1,98 ± 0,070
nach Folin-Ciocalteu	9,24 ± 0,191
Flavonoide	0,041 ± 0,003

Lösliche Salze	
[mg/g]	
Natrium	10,5 ± 0,032
Ammonium	n.n.
Kalium	12,1 ± 0,109
Magnesium	0,879 ± 0,002
Calcium	11,4 ± 0,020
Fluorid	2,64 ± 0,006
Chlorid	11,3 ± 0,002
Nitrit	n.n.
Sulfat	47,0 ± 0,012
Nitrat	2,92 ± 0,001
Bromid	n.n.
Phosphat	6,18 ± 0,023

n.n. = nicht nachweisbar; n.b. = nicht bestimmbar,
(relative Standardabweichung >50 %)

Spurenelemente		
[mg/kg]		
Ag	328,068 nm	
Al	396,152 nm	1,66 ± 0,074
As	189,042 nm	
B	249,773 nm	1,27 ± 0,038
Ba	455,403 nm	0,212 ± 0,019
Be	234,861 nm	
Bi	223,061 nm	
Ca	422,673 nm	16493,6 ± 13,98
Cd	214,438 nm	
Co	228,616 nm	
Cr	267,716 nm	0,331 ± 0,020
Cu	324,754 nm	0,872 ± 0,040
Fe	259,940 nm	8,44 ± 0,056
K	766,490 nm	13510,6 ± 17,53
Li	670,784 nm	0,492 ± 0,006
Mg	280,270 nm	1880,4 ± 5,902
Mn	293,930 nm	1,58 ± 0,016
Mo	202,030 nm	n.n.
Na	589,592 nm	13016,5 ± 113,5
Ni	231,604 nm	0,310 ± 0,006
P	177,495 nm	1059,8 ± 8,350
Pb	220,353 nm	
S	182,034 nm	18363,3 ± 77,91
Sb	217,581 nm	
Se	203,985 nm	
Sr	407,771 nm	4,81 ± 0,003
Ti	337,280 nm	0,408 ± 0,025
Tl	190,856 nm	
V	292,464 nm	1,22 ± 0,044
W	239,709 nm	
Zn	206,200 nm	14,7 ± 0,034

49. Karottentrester

Allgemeine Daten		
Trockenmasse	[%]	89,5
Gesamtstickstoff (TN)	[%]	1,45 ± 0,03
Aminostickstoff (AN)	[%]	0,20 ± 0,01
Hydrolysegrad (AN/TN)	[%]	13,9 ± 0,39
Aschegehalt	[%]	14,9

Aminosäuren	frei	gesamt
[g/100 g]		
Alanin	n.n.	0,23 ± 0,019
Asparagin	n.n.	n.n.
Asparaginsäure	0,24 ± 0,010	0,71 ± 0,029
Cystathionin	n.n.	n.n.
Glutaminsäure	0,02 ± 0,008	0,71 ± 0,008
Glycin	n.n.	0,20 ± 0,0004
Histidin	0,33 ± 0,002	0,51 ± 0,0004
Isoleucin	n.n.	n.n.
Leucin	0,05 ± 0,002	0,41 ± 0,002
Lysin	0,19 ± 0,004	0,42 ± 0,005
Methionin	0,08 ± 0,001	0,05 ± 0,074
Phenylalanin	0,04 ± 0,001	0,26 ± 0,0004
Prolin	0,02 ± 0,002	0,34 ± 0,007
Serin	0,07 ± 0,003	0,34 ± 0,003
Threonin	n.n.	0,25 ± 0,005
Tryptophan	n.n.	n.n.
Tyrosin	0,10 ± 0,004	0,21 ± 0,002
Valin	n.n.	0,33 ± 0,011

Fettsäuren	
[mg/g]	
Methylcapronat (C6:0)	0,731 ± 0,039
Methyldecanoat (C10:0)	0,102 ± 0,003
Methyl- <i>cis</i> -10-pentadecenoat (C15:1)	0,149 ± 0,013
Methylstearat (C18:0)	0,390 ± 0,174

Kohlenhydrate	
[mg/g]	
Gesamtgehalt	379,5 ± 5,336
Reduzierende Zucker	434,8 ± 7,223

Kohlenhydrate	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Rhamnose	6,50	29,5 ± 0,244
Arabinose	n.n.	100,7 ± 0,421
Galactose	n.n.	n.n.
Glucose	n.n.	113,3 ± 0,739
Saccharose	25,1	n.n.
Xylose	11,9	6,01 ± 0,048
Mannose	3,50	3,64 ± 0,027
Fructose	67,3	3,57 ± 0,223

Hemmstoffe	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Formiat	8,98	25,5 ± 0,449
Acetat	35,5	40,1 ± 0,395
Lävulinsäure	1,60	34,9 ± 1,031
Hydroxymethylfurfural	2,10	8,01 ± 0,016
Furfural	0,42	14,4 ± 0,100

Gesamtpolyphenole	
[mg/g]	
nach MEBAK	1,15 ± 0,070
nach Folin-Ciocalteu	7,70 ± 0,252
Flavonoide	0,033 ± 0,003

Lösliche Salze	
[mg/g]	
Natrium	2,93 ± 0,011
Ammonium	n.n.
Kalium	19,1 ± 0,108
Magnesium	2,52 ± 0,043
Calcium	27,7 ± 0,066
Fluorid	5,55 ± 0,001
Chlorid	2,05 ± 0,019
Nitrit	1,29 ± 0,003
Sulfat	37,5 ± 0,137
Nitrat	3,24 ± 0,008
Bromid	2,22 ± 0,016
Phosphat	7,04 ± 0,103

n.n. = nicht nachweisbar; n.b. = nicht bestimmbar,
(relative Standardabweichung >50 %)

Spurenelemente		
[mg/kg]		
Ag	328,068 nm	n.n.
Al	396,152 nm	19,0 ± 0,838
As	189,042 nm	n.n.
B	249,773 nm	49,8 ± 0,140
Ba	455,403 nm	1,16 ± 0,012
Be	234,861 nm	n.n.
Bi	223,061 nm	n.n.
Ca	422,673 nm	31182,1 ± 274,9
Cd	214,438 nm	0,118 ± 0,000
Co	228,616 nm	n.n.
Cr	267,716 nm	0,962 ± 0,085
Cu	324,754 nm	0,941 ± 0,005
Fe	259,940 nm	44,7 ± 0,125
K	766,490 nm	20345,7 ± 168,9
Li	670,784 nm	0,942 ± 0,032
Mg	280,270 nm	4180,9 ± 38,15
Mn	293,930 nm	19,8 ± 0,018
Mo	202,030 nm	n.n.
Na	589,592 nm	3219,0 ± 19,08
Ni	231,604 nm	0,479 ± 0,005
P	177,495 nm	759,8 ± 6,694
Pb	220,353 nm	n.n.
S	182,034 nm	12865,4 ± 125,6
Sb	217,581 nm	n.n.
Se	203,985 nm	n.n.
Sr	407,771 nm	31,1 ± 0,075
Ti	337,280 nm	0,971 ± 0,026
Tl	190,856 nm	n.n.
V	292,464 nm	2,42 ± 0,017
W	239,709 nm	n.n.
Zn	206,200 nm	15,1 ± 0,053

50. Kartoffelprotein

Allgemeine Daten		
Trockenmasse	[%]	95,3
Gesamtstickstoff (TN)	[%]	10,8 ± 0,07
Aminostickstoff (AN)	[%]	2,94 ± 0,03
Hydrolysegrad (AN/TN)	[%]	27,3 ± 0,06
Aschegehalt	[%]	23,0

Aminosäuren	frei	gesamt
[g/100 g]		
Alanin	0,05 ± 0,004	2,72 ± 0,039
Asparagin	0,29 ± 0,012	n.n.
Asparaginsäure	5,89 ± 0,098	14,0 ± 0,172
Cystathionin	n.n.	n.n.
Glutaminsäure	0,12 ± 0,017	5,41 ± 0,096
Glycin	0,06 ± 0,009	2,87 ± 0,054
Histidin	0,35 ± 0,003	1,68 ± 0,045
Isoleucin	n.n.	1,93 ± 0,070
Leucin	0,12 ± 0,004	5,40 ± 0,069
Lysin	0,30 ± 0,008	5,51 ± 0,190
Methionin	0,08 ± 0,004	0,89 ± 0,023
Phenylalanin	0,09 ± 0,002	2,68 ± 0,042
Prolin	0,12 ± 0,004	4,51 ± 0,064
Serin	0,30 ± 0,006	4,50 ± 0,203
Threonin	n.n.	3,89 ± 0,091
Tryptophan	n.n.	n.n.
Tyrosin	0,18 ± 0,002	2,41 ± 0,036
Valin	0,07 ± 0,003	4,00 ± 0,035

Fettsäuren	
[mg/g]	
Methylcapronat (C6:0)	0,242 ± 0,009
Methyldecanoat (C10:0)	0,123 ± 0,010
Methyl- <i>cis</i> -10-pentadecenoat (C15:1)	0,093 ± 0,002
Methylstearat (C18:0)	0,650 ± 0,026

Kohlenhydrate	
[mg/g]	
Gesamtgehalt	34,6 ± 0,691
Reduzierende Zucker	55,7 ± 0,287

Kohlenhydrate	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Rhamnose	n.n.	n.n.
Arabinose	4,87	6,16 ± 0,017
Galactose	1,06	7,02 ± 0,021
Glucose	4,58	6,05 ± 0,060
Saccharose	n.n.	n.n.
Xylose	n.n.	n.n.
Mannose	0,66	4,77 ± 0,060
Fructose	3,76	n.n.

Hemmstoffe	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Formiat	2,49	3,04 ± 0,054
Acetat	2,72	2,81 ± 0,066
Lävulinsäure	n.n.	1,22 ± 0,085
Hydroxymethylfurfural	0,10	0,82 ± 0,046
Furfural	1,23	1,46 ± 0,026

Gesamtpolyphenole	
[mg/g]	
nach MEBAK	1,47 ± 0,040
nach Folin-Ciocalteu	21,7 ± 0,471
Flavonoide	n.n.

Lösliche Salze	
[mg/g]	
Natrium	0,551 ± 0,005
Ammonium	10,4 ± 0,019
Kalium	23,0 ± 0,107
Magnesium	1,45 ± 0,037
Calcium	44,2 ± 0,237
Fluorid	1,39 ± 0,005
Chlorid	2,31 ± 0,008
Nitrit	n.n.
Sulfat	118,4 ± 0,328
Nitrat	n.n.
Bromid	6,63 ± 0,000
Phosphat	7,58 ± 0,031

n.n. = nicht nachweisbar; n.b. = nicht bestimmbar,
(relative Standardabweichung >50 %)

Spurenelemente		
[mg/kg]		
Ag	328,068 nm	n.n.
Al	396,152 nm	142,9 ± 4,957
As	189,042 nm	n.n.
B	249,773 nm	7,58 ± 0,725
Ba	455,403 nm	0,423 ± 0,014
Be	234,861 nm	n.n.
Bi	223,061 nm	n.n.
Ca	422,673 nm	46925,0 ± 38,35
Cd	214,438 nm	0,428 ± 0,031
Co	228,616 nm	n.n.
Cr	267,716 nm	0,816 ± 0,051
Cu	324,754 nm	4,54 ± 0,416
Fe	259,940 nm	127,6 ± 12,51
K	766,490 nm	24758,9 ± 407,6
Li	670,784 nm	1,27 ± 0,017
Mg	280,270 nm	2606,2 ± 12,13
Mn	293,930 nm	10,2 ± 1,150
Mo	202,030 nm	0,147 ± 0,025
Na	589,592 nm	181,2 ± 43,35
Ni	231,604 nm	0,719 ± 0,014
P	177,495 nm	2132,3 ± 157,3
Pb	220,353 nm	n.n.
S	182,034 nm	45443,9 ± 2186,8
Sb	217,581 nm	n.n.
Se	203,985 nm	n.n.
Sr	407,771 nm	27,7 ± 1,324
Ti	337,280 nm	0,669 ± 0,080
Tl	190,856 nm	n.n.
V	292,464 nm	2,35 ± 0,123
W	239,709 nm	n.n.
Zn	206,200 nm	24,0 ± 0,947

51. Maiskleber

Allgemeine Daten		
Trockenmasse	[%]	92,6
Gesamtstickstoff (TN)	[%]	5,80 ± 0,02
Aminostickstoff (AN)	[%]	1,80 ± 0,02
Hydrolysegrad (AN/TN)	[%]	31,0 ± 0,27
Aschegehalt	[%]	5,9

Aminosäuren	frei	gesamt
[g/100 g]		
Alanin	0,16 ± 0,001	1,84 ± 0,028
Asparagin	n.n.	n.n.
Asparaginsäure	1,15 ± 0,039	2,98 ± 0,050
Cystathionin	n.n.	n.n.
Glutaminsäure	0,03 ± 0,005	3,66 ± 0,074
Glycin	0,04 ± 0,004	1,30 ± 0,012
Histidin	0,34 ± 0,005	1,56 ± 0,046
Isoleucin	n.n.	0,83 ± 0,014
Leucin	0,29 ± 0,002	2,61 ± 0,034
Lysin	0,24 ± 0,012	1,64 ± 0,036
Methionin	0,09 ± 0,002	0,54 ± 0,010
Phenylalanin	0,22 ± 0,002	1,50 ± 0,026
Prolin	0,18 ± 0,003	2,64 ± 0,016
Serin	0,15 ± 0,014	1,82 ± 0,031
Threonin	0,03 ± 0,013	1,28 ± 0,010
Tryptophan	n.n.	n.n.
Tyrosin	0,13 ± 0,004	1,00 ± 0,020
Valin	0,07 ± 0,003	1,48 ± 0,011

Fettsäuren	
[mg/g]	
Methyldecanoat (C10:0)	n.n.
Methylstearat (C18:0)	1,15 ± 0,202
Methyl- γ -Linolenat (C18:3n6)	0,216 ± 0,069

Kohlenhydrate	
[mg/g]	
Gesamtgehalt	532,2 ± 4,788
Reduzierende Zucker	272,4 ± 2,751

Kohlenhydrate	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Rhamnose	n.n.	n.n.
Arabinose	11,8	10,7 ± 0,022
Galactose	1,48	1,98 ± 0,059
Glucose	n.n.	n.n.
Saccharose	n.n.	n.n.
Xylose	3,92	9,14 ± 0,157
Mannose	0,66	1,18 ± 0,015
Fructose	5,39	6,89 ± 2,015

Hemmstoffe	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Formiat	6,13	5,95 ± 0,123
Acetat	2,91	2,25 ± 0,114
Lävulinsäure	0,37	8,22 ± 0,124
Hydroxymethylfurfural	0,86	4,91 ± 0,035
Furfural	0,41	2,77 ± 0,145

Vitamine		
Thiamin · HCl	[mg/100 g]	2,36
Riboflavin	[mg/100 g]	1,57 ± 0,007
Nicotinsäure	[mg/100 g]	28,7
Ca-Pantothenat	[mg/100 g]	5,44
Pyridoxin · HCl	[mg/100 g]	2,08
Biotin	[μ g/100 g]	38,1
Folsäure	[mg/100 g]	14,2 ± 2,797
Cobalamin	[μ g/100 g]	5,53
Inositol	[mg/100 g]	164,3

Gesamtpolyphenole	
[mg/g]	
nach MEBAK	1,54 ± 0,040
nach Folin-Ciocalteu	18,1 ± 0,884
Flavonoide	1,00 ± 0,008

Lösliche Salze	
[mg/g]	
Natrium	1,37 ± 0,019
Ammonium	17,3 ± 0,136
Kalium	3,25 ± 0,001
Magnesium	0,847 ± 0,016
Calcium	8,87 ± 0,038
Fluorid	3,31 ± 0,036
Chlorid	0,926 ± 0,007
Nitrit	n.n.
Sulfat	59,6 ± 0,405
Nitrat	n.n.
Bromid	2,10 ± 0,004
Phosphat	6,10 ± 0,012

n.n. = nicht nachweisbar; n.b. = nicht bestimmbar,
(relative Standardabweichung >50 %)

Spurenelemente		
[mg/kg]		
Ag	328,068 nm	n.n.
Al	396,152 nm	1,42 ± 0,096
As	189,042 nm	n.n.
B	249,773 nm	4,58 ± 0,106
Ba	455,403 nm	0,133 ± 0,001
Be	234,861 nm	n.n.
Bi	223,061 nm	n.n.
Ca	422,673 nm	13075,6 ± 15,74
Cd	214,438 nm	n.n.
Co	228,616 nm	n.n.
Cr	267,716 nm	0,434 ± 0,010
Cu	324,754 nm	5,49 ± 0,074
Fe	259,940 nm	25,4 ± 0,172
K	766,490 nm	3239,4 ± 30,27
Li	670,784 nm	0,502 ± 0,045
Mg	280,270 nm	1788,6 ± 2,756
Mn	293,930 nm	1,72 ± 0,020
Mo	202,030 nm	0,241 ± 0,010
Na	589,592 nm	1232,3 ± 1,519
Ni	231,604 nm	0,561 ± 0,002
P	177,495 nm	568,1 ± 3,195
Pb	220,353 nm	n.n.
S	182,034 nm	24894,3 ± 103,4
Sb	217,581 nm	n.n.
Se	203,985 nm	n.n.
Sr	407,771 nm	5,06 ± 0,112
Ti	337,280 nm	0,502 ± 0,029
Tl	190,856 nm	n.n.
V	292,464 nm	1,25 ± 0,027
W	239,709 nm	n.n.
Zn	206,200 nm	1,73 ± 0,136

52. Proti Grain®

Allgemeine Daten		
Trockenmasse	[%]	88,1
Gesamtstickstoff (TN)	[%]	2,66 ± 0,05
Aminostickstoff (AN)	[%]	0,31 ± 0,003
Hydrolysegrad (AN/TN)	[%]	11,6 ± 0,10
Aschegehalt	[%]	15,9

Aminosäuren	frei	gesamt
[g/100 g]		
Alanin	n.n.	0,34 ± 0,018
Asparagin	n.n.	n.n.
Asparaginsäure	0,17 ± 0,014	0,75 ± 0,030
Cystathionin	n.n.	n.n.
Glutaminsäure	n.n.	2,45 ± 0,291
Glycin	n.n.	0,54 ± 0,008
Histidin	n.n.	0,74 ± 0,014
Isoleucin	n.n.	n.n.
Leucin	0,04 ± 0,003	0,50 ± 0,005
Lysin	n.n.	0,48 ± 0,013
Methionin	0,07 ± 0,001	0,17 ± 0,005
Phenylalanin	0,04 ± 0,001	0,39 ± 0,003
Prolin	0,03 ± 0,007	1,02 ± 0,014
Serin	0,03 ± 0,001	0,55 ± 0,022
Threonin	n.n.	0,40 ± 0,008
Tryptophan	n.n.	n.n.
Tyrosin	n.n.	0,34 ± 0,004
Valin	n.n.	0,38 ± 0,002

Fettsäuren	
[mg/g]	
Methyldecanoat (C10:0)	2,59 ± 0,067
Methylstearat (C18:0)	0,426 ± 0,019

Kohlenhydrate	
[mg/g]	
Gesamtgehalt	270,7 ± 3,220
Reduzierende Zucker	322,9 ± 3,230

Kohlenhydrate	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Rhamnose	n.n.	n.n.
Arabinose	47,6	51,6 ± 0,631
Galactose	6,49	18,6 ± 0,057
Glucose	20,9	125,0 ± 2,492
Saccharose	n.n.	1,73 ± 0,115
Xylose	46,0	n.b.
Mannose	n.n.	31,2 ± 0,234
Fructose	19,4	7,75 ± 0,122

Hemmstoffe	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Formiat	239,1	n.n.
Acetat	9,34	7,01 ± 0,066
Lävulinsäure	0,10	7,43 ± 0,115
Hydroxymethylfurfural	0,61	3,16 ± 0,085
Furfural	2,85	24,2 ± 0,033

Gesamtpolyphenole	
[mg/g]	
nach MEBAK	2,19 ± 0,070
nach Folin-Ciocalteu	20,3 ± 0,081
Flavonoide	0,355 ± 0,003

Lösliche Salze	
[mg/g]	
Natrium	5,21 ± 0,039
Ammonium	n.n.
Kalium	22,8 ± 0,037
Magnesium	3,96 ± 0,050
Calcium	17,4 ± 0,020
Fluorid	6,40 ± 0,018
Chlorid	3,62 ± 0,007
Nitrit	1,10 ± 0,000
Sulfat	73,2 ± 0,381
Nitrat	n.n.
Bromid	2,13 ± 0,002
Phosphat	6,86 ± 0,011

n.n. = nicht nachweisbar; n.b. = nicht bestimmbar,
(relative Standardabweichung >50 %)

Spurenelemente		
[mg/kg]		
Ag	328,068 nm	n.n.
Al	396,152 nm	2,52 ± 0,371
As	189,042 nm	n.n.
B	249,773 nm	7,61 ± 0,052
Ba	455,403 nm	0,127 ± 0,009
Be	234,861 nm	n.n.
Bi	223,061 nm	n.n.
Ca	422,673 nm	21405,6 ± 219,6
Cd	214,438 nm	n.n.
Co	228,616 nm	n.n.
Cr	267,716 nm	0,671 ± 0,017
Cu	324,754 nm	1,78 ± 0,022
Fe	259,940 nm	37,3 ± 0,088
K	766,490 nm	23828,2 ± 137,8
Li	670,784 nm	0,426 ± 0,015
Mg	280,270 nm	5858,0 ± 77,07
Mn	293,930 nm	14,1 ± 0,050
Mo	202,030 nm	0,211 ± 0,003
Na	589,592 nm	5918,6 ± 53,51
Ni	231,604 nm	1,16 ± 0,002
P	177,495 nm	3039,1 ± 31,55
Pb	220,353 nm	0,233 ± 0,030
S	182,034 nm	25675,0 ± 351,0
Sb	217,581 nm	n.n.
Se	203,985 nm	n.n.
Sr	407,771 nm	8,94 ± 0,050
Ti	337,280 nm	0,647 ± 0,018
Tl	190,856 nm	n.n.
V	292,464 nm	2,87 ± 0,020
W	239,709 nm	n.n.
Zn	206,200 nm	7,87 ± 0,078

53. Rapsextraktionsschrot

Allgemeine Daten		
Trockenmasse	[%]	87,3
Gesamtstickstoff (TN)	[%]	4,80 ± 0,01
Aminostickstoff (AN)	[%]	0,97 ± 0,01
Hydrolysegrad (AN/TN)	[%]	20,1 ± 0,22
Aschegehalt	[%]	19,5

Aminosäuren	frei	gesamt
[g/100 g]		
Alanin	n.n.	0,82 ± 0,010
Asparagin	n.n.	n.n.
Asparaginsäure	1,02 ± 0,012	2,54 ± 0,056
Cystathionin	n.n.	n.n.
Glutaminsäure	0,09 ± 0,001	4,28 ± 0,589
Glycin	n.n.	1,19 ± 0,024
Histidin	0,33 ± 0,002	1,22 ± 0,042
Isoleucin	n.n.	0,36 ± 0,008
Leucin	0,05 ± 0,002	1,13 ± 0,008
Lysin	0,20 ± 0,002	1,34 ± 0,033
Methionin	0,08 ± 0,002	0,26 ± 0,013
Phenylalanin	0,05 ± 0,002	0,69 ± 0,015
Prolin	0,08 ± 0,003	1,73 ± 0,018
Serin	0,15 ± 0,007	1,29 ± 0,036
Threonin	n.n.	1,31 ± 0,020
Tryptophan	n.n.	n.n.
Tyrosin	0,10 ± 0,003	0,63 ± 0,025
Valin	n.n.	0,98 ± 0,013

Fettsäuren	
[mg/g]	
Methyldecanoat (C10:0)	0,066 ± 0,010
Methyltridecanoat (C13:0)	n.b.
Methylmyristat (C14:0)	0,215 ± 0,098
Methylstearat (C18:0)	0,370 ± 0,112
Methyl- γ -Linolenat (C18:3n6)	n.b.

Kohlenhydrate	
[mg/g]	
Gesamtgehalt	287,6 ± 1,165
Reduzierende Zucker	392,0 ± 2,923

Kohlenhydrate	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Rhamnose	n.n.	5,44 ± 0,472
Arabinose	n.n.	64,3 ± 0,637
Galactose	24,5	43,6 ± 0,232
Glucose	n.n.	86,3 ± 0,519
Saccharose	n.n.	n.n.
Xylose	15,5	11,2 ± 0,091
Mannose	n.n.	2,64 ± 0,261
Fructose	79,4	3,32 ± 0,122

Hemmstoffe	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Formiat	13,0	14,6 ± 0,272
Acetat	10,3	7,20 ± 0,492
Lävulinsäure	0,57	27,4 ± 0,782
Hydroxymethylfurfural	2,27	5,08 ± 0,173
Furfural	0,69	13,8 ± 0,141

Gesamtpolyphenole	
[mg/g]	
nach MEBAK	1,96 ± 0,080
nach Folin-Ciocalteu	22,9 ± 1,024
Flavonoide	0,080 ± 0,002

Lösliche Salze	
[mg/g]	
Natrium	3,69 ± 0,005
Ammonium	3,68 ± 0,011
Kalium	24,8 ± 0,029
Magnesium	11,7 ± 0,143
Calcium	12,7 ± 0,234
Fluorid	3,01 ± 0,008
Chlorid	3,02 ± 0,005
Nitrit	1,10 ± 0,007
Sulfat	90,8 ± 0,287
Nitrat	n.n.
Bromid	2,23 ± 0,002
Phosphat	7,25 ± 0,009

n.n. = nicht nachweisbar; n.b. = nicht bestimmbar,
(relative Standardabweichung >50 %)

Spurenelemente		
[mg/kg]		
Ag	328,068 nm	n.n.
Al	396,152 nm	16,8 ± 0,464
As	189,042 nm	n.n.
B	249,773 nm	34,0 ± 0,093
Ba	455,403 nm	0,215 ± 0,005
Be	234,861 nm	n.n.
Bi	223,061 nm	n.n.
Ca	422,673 nm	18110,9 ± 3,168
Cd	214,438 nm	n.n.
Co	228,616 nm	0,610 ± 0,012
Cr	267,716 nm	5,35 ± 0,120
Cu	324,754 nm	0,301 ± 0,032
Fe	259,940 nm	165,8 ± 0,409
K	766,490 nm	27704,3 ± 6,232
Li	670,784 nm	0,577 ± 0,051
Mg	280,270 nm	14025,3 ± 234,7
Mn	293,930 nm	26,6 ± 0,031
Mo	202,030 nm	n.n.
Na	589,592 nm	4401,0 ± 27,50
Ni	231,604 nm	8,08 ± 0,092
P	177,495 nm	2753,4 ± 6,325
Pb	220,353 nm	n.n.
S	182,034 nm	36445,9 ± 27,06
Sb	217,581 nm	n.n.
Se	203,985 nm	n.n.
Sr	407,771 nm	14,0 ± 0,392
Ti	337,280 nm	0,724 ± 0,031
Tl	190,856 nm	0,208 ± 0,024
V	292,464 nm	3,56 ± 0,079
W	239,709 nm	n.n.
Zn	206,200 nm	11,1 ± 0,065

54. Rapspresskuchen

Allgemeine Daten		
Trockenmasse	[%]	89,5
Gesamtstickstoff (TN)	[%]	6,15 ± 0,05
Aminostickstoff (AN)	[%]	0,92 ± 0,01
Hydrolysegrad (AN/TN)	[%]	15,0 ± 0,08
Aschegehalt	[%]	18,3

Aminosäuren	frei	gesamt
[g/100 g]		
Alanin	n.n.	1,18 ± 0,017
Asparagin	0,03 ± 0,0001	n.n.
Asparaginsäure	0,84 ± 0,011	2,95 ± 0,033
Cystathionin	n.n.	n.n.
Glutaminsäure	0,10 ± 0,002	7,15 ± 0,258
Glycin	n.n.	1,59 ± 0,019
Histidin	0,51 ± 0,248	1,46 ± 0,058
Isoleucin	n.n.	0,72 ± 0,012
Leucin	0,05 ± 0,006	1,84 ± 0,045
Lysin	0,21 ± 0,026	1,71 ± 0,085
Methionin	0,08 ± 0,001	0,39 ± 0,006
Phenylalanin	0,06 ± 0,002	1,02 ± 0,038
Prolin	0,07 ± 0,002	2,86 ± 0,041
Serin	0,15 ± 0,008	1,62 ± 0,018
Threonin	n.n.	1,65 ± 0,016
Tryptophan	n.n.	n.n.
Tyrosin	0,10 ± 0,002	0,69 ± 0,025
Valin	n.n.	1,53 ± 0,010

Fettsäuren	
[mg/g]	
Methyldecanoat (C10:0)	n.n.
Methylstearat (C18:0)	0,266 ± 0,008

Kohlenhydrate	
[mg/g]	
Gesamtgehalt	205,4 ± 1,923
Reduzierende Zucker	309,0 ± 5,158

Kohlenhydrate	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Rhamnose	n.n.	2,79 ± 0,152
Arabinose	n.n.	62,4 ± 0,605
Galactose	12,6	40,6 ± 0,217
Glucose	44,2	67,4 ± 1,390
Saccharose	n.n.	n.n.
Xylose	3,91	6,72 ± 0,033
Mannose	0,25	1,52 ± 0,0005
Fructose	61,3	4,15 ± 0,278

Hemmstoffe	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Formiat	32,2	11,7 ± 0,030
Acetat	7,34	3,63 ± 0,031
Lävulinsäure	0,37	15,3 ± 0,031
Hydroxymethylfurfural	0,93	3,85 ± 0,012
Furfural	0,44	11,1 ± 0,315

Gesamtpolyphenole	
[mg/g]	
nach MEBAK	1,56 ± 0,069
nach Folin-Ciocalteu	20,4 ± 0,612
Flavonoide	0,081 ± 0,003

Lösliche Salze	
[mg/g]	
Natrium	0,381 ± 0,002
Ammonium	2,93 ± 0,055
Kalium	29,6 ± 0,023
Magnesium	8,58 ± 0,032
Calcium	19,7 ± 0,298
Fluorid	3,94 ± 0,009
Chlorid	3,41 ± 0,027
Nitrit	n.n.
Sulfat	96,0 ± 0,139
Nitrat	n.n.
Bromid	2,09 ± 0,001
Phosphat	6,91 ± 0,013

n.n. = nicht nachweisbar; n.b. = nicht bestimmbar,
(relative Standardabweichung >50 %)

Spurenelemente		
[mg/kg]		
Ag	328,068 nm	n.n.
Al	396,152 nm	18,0 ± 0,038
As	189,042 nm	n.n.
B	249,773 nm	28,5 ± 0,199
Ba	455,403 nm	0,358 ± 0,000
Be	234,861 nm	n.n.
Bi	223,061 nm	n.n.
Ca	422,673 nm	22680,3 ± 117,5
Cd	214,438 nm	n.n.
Co	228,616 nm	n.n.
Cr	267,716 nm	0,591 ± 0,012
Cu	324,754 nm	n.n.
Fe	259,940 nm	52,4 ± 0,495
K	766,490 nm	30517,3 ± 287,1
Li	670,784 nm	0,446 ± 0,042
Mg	280,270 nm	11010,6 ± 3,580
Mn	293,930 nm	19,0 ± 0,223
Mo	202,030 nm	n.n.
Na	589,592 nm	75,3 ± 4,799
Ni	231,604 nm	1,63 ± 0,012
P	177,495 nm	1170,1 ± 2,792
Pb	220,353 nm	0,137 ± 0,022
S	182,034 nm	37979,8 ± 55,94
Sb	217,581 nm	n.n.
Se	203,985 nm	n.n.
Sr	407,771 nm	15,0 ± 0,060
Ti	337,280 nm	0,745 ± 0,022
Tl	190,856 nm	0,189 ± 0,000
V	292,464 nm	3,69 ± 0,072
W	239,709 nm	n.n.
Zn	206,200 nm	12,4 ± 0,016

55. Rote Beete Trester

Allgemeine Daten		
Trockenmasse	[%]	83,8
Gesamtstickstoff (TN)	[%]	1,42 ± 0,05
Aminostickstoff (AN)	[%]	0,44 ± 0,03
Hydrolysegrad (AN/TN)	[%]	31,3 ± 0,68
Aschegehalt	[%]	11,8

Aminosäuren	frei	gesamt
[g/100 g]		
Alanin	0,17 ± 0,005	0,20 ± 0,007
Asparagin	n.n.	n.n.
Asparaginsäure	0,20 ± 0,016	0,40 ± 0,015
Cystathionin	n.n.	n.n.
Glutaminsäure	0,27 ± 0,039	2,32 ± 0,077
Glycin	n.n.	0,03 ± 0,002
Histidin	0,33 ± 0,004	0,51 ± 0,009
Isoleucin	n.n.	n.n.
Leucin	0,10 ± 0,002	0,18 ± 0,005
Lysin	0,19 ± 0,003	0,32 ± 0,009
Methionin	0,08 ± 0,002	n.n.
Phenylalanin	0,04 ± 0,001	0,10 ± 0,003
Prolin	0,02 ± 0,003	0,11 ± 0,002
Serin	0,23 ± 0,014	0,35 ± 0,019
Threonin	0,02 ± 0,0003	0,09 ± 0,008
Tryptophan	n.n.	n.n.
Tyrosin	0,12 ± 0,004	0,17 ± 0,005
Valin	0,06 ± 0,005	0,13 ± 0,005

Fettsäuren	
[mg/g]	
Methyldecanoat (C10:0)	0,235 ± 0,023
Methylstearat (C18:0)	0,119 ± 0,0002

Kohlenhydrate	
[mg/g]	
Gesamtgehalt	635,1 ± 5,788
Reduzierende Zucker	445,2 ± 12,04

Kohlenhydrate	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Rhamnose	n.n.	2,90 ± 0,111
Arabinose	48,2	46,4 ± 0,690
Galactose	4,05	14,1 ± 0,043
Glucose	n.n.	n.n.
Saccharose	n.n.	n.n.
Xylose	n.n.	n.n.
Mannose	0,93	n.b.
Fructose	178,1	10,8 ± 3,605

Hemmstoffe	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Formiat	3,09	53,2 ± 3,589
Acetat	9,18	11,5 ± 0,422
Lävulinsäure	0,76	118,2 ± 10,28
Hydroxymethylfurfural	9,90	29,9 ± 5,214
Furfural	0,20	6,01 ± 0,139

Gesamtpolyphenole	
[mg/g]	
nach MEBAK	2,40 ± 0,070
nach Folin-Ciocalteu	8,84 ± 0,244
Flavonoide	0,052 ± 0,004

Lösliche Salze	
[mg/g]	
Natrium	2,30 ± 0,000
Ammonium	n.n.
Kalium	27,0 ± 0,124
Magnesium	1,38 ± 0,007
Calcium	8,77 ± 0,345
Fluorid	3,72 ± 0,007
Chlorid	7,42 ± 0,008
Nitrit	n.n.
Sulfat	30,8 ± 0,067
Nitrat	n.n.
Bromid	7,23 ± 0,010
Phosphat	6,38 ± 0,025

n.n. = nicht nachweisbar; n.b. = nicht bestimmbar,
(relative Standardabweichung >50 %)

Spurenelemente		
[mg/kg]		
Ag	328,068 nm	n.n.
Al	396,152 nm	29,9 ± 0,912
As	189,042 nm	n.n.
B	249,773 nm	15,3 ± 0,054
Ba	455,403 nm	0,815 ± 0,030
Be	234,861 nm	n.n.
Bi	223,061 nm	n.n.
Ca	422,673 nm	13567,9 ± 36,92
Cd	214,438 nm	n.n.
Co	228,616 nm	n.n.
Cr	267,716 nm	1,87 ± 0,025
Cu	324,754 nm	0,196 ± 0,011
Fe	259,940 nm	28,0 ± 0,309
K	766,490 nm	28184,8 ± 111,1
Li	670,784 nm	0,379 ± 0,094
Mg	280,270 nm	2586,2 ± 6,823
Mn	293,930 nm	10,8 ± 0,126
Mo	202,030 nm	n.n.
Na	589,592 nm	2370,5 ± 2,016
Ni	231,604 nm	0,303 ± 0,014
P	177,495 nm	319,3 ± 2,318
Pb	220,353 nm	n.n.
S	182,034 nm	10595,4 ± 18,63
Sb	217,581 nm	n.n.
Se	203,985 nm	n.n.
Sr	407,771 nm	9,44 ± 0,122
Ti	337,280 nm	1,14 ± 0,016
Tl	190,856 nm	n.n.
V	292,464 nm	1,80 ± 0,006
W	239,709 nm	n.n.
Zn	206,200 nm	5,22 ± 0,045

56. Rübenblatt

Allgemeine Daten		
Trockenmasse	[%]	88,4
Gesamtstickstoff (TN)	[%]	1,42 ± 0,01
Aminostickstoff (AN)	[%]	0,19 ± 0,01
Hydrolysegrad (AN/TN)	[%]	13,5 ± 0,52
Aschegehalt	[%]	22,7

Aminosäuren	frei	gesamt
[g/100 g]		
Alanin	n.n.	0,13 ± 0,004
Asparagin	n.n.	n.n.
Asparaginsäure	0,19 ± 0,024	0,48 ± 0,012
Cystathionin	n.n.	n.n.
Glutaminsäure	n.n.	0,60 ± 0,081
Glycin	n.n.	0,16 ± 0,001
Histidin	0,33 ± 0,006	0,48 ± 0,009
Isoleucin	n.n.	n.n.
Leucin	0,07 ± 0,003	0,27 ± 0,006
Lysin	0,19 ± 0,003	0,34 ± 0,007
Methionin	0,07 ± 0,002	0,10 ± 0,006
Phenylalanin	0,05 ± 0,001	0,18 ± 0,005
Prolin	0,02 ± 0,002	0,26 ± 0,006
Serin	0,13 ± 0,018	0,31 ± 0,007
Threonin	n.n.	0,16 ± 0,001
Tryptophan	n.n.	n.n.
Tyrosin	0,09 ± 0,001	0,17 ± 0,002
Valin	n.n.	0,18 ± 0,004

Fettsäuren	
[mg/g]	
Methyldecanoat (C10:0)	0,088 ± 0,002
Methylstearat (C18:0)	0,332 ± 0,155

Kohlenhydrate	
[mg/g]	
Gesamtgehalt	497,9 ± 2,079
Reduzierende Zucker	445,4 ± 4,641

Kohlenhydrate	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Rhamnose	n.n.	5,41 ± 0,154
Arabinose	48,3	43,8 ± 0,221
Galactose	5,37	18,7 ± 0,182
Glucose	n.n.	n.n.
Saccharose	2,93	n.n.
Xylose	n.n.	n.n.
Mannose	1,88	1,33 ± 0,018
Fructose	127,8	5,14 ± 0,058

Hemmstoffe	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Formiat	5,06	33,9 ± 0,185
Acetat	14,6	16,6 ± 0,229
Lävulinsäure	n.n.	65,1 ± 0,031
Hydroxymethylfurfural	3,09	13,7 ± 0,051
Furfural	0,19	7,50 ± 0,095

Gesamtpolyphenole	
[mg/g]	
nach MEBAK	2,03 ± 0,080
nach Folin-Ciocalteu	10,0 ± 0,407
Flavonoide	0,047 ± 0,003

Lösliche Salze	
[mg/g]	
Natrium	$6,71 \pm 0,027$
Ammonium	n.n.
Kalium	$63,0 \pm 0,118$
Magnesium	$2,06 \pm 0,046$
Calcium	$15,4 \pm 0,290$
Fluorid	$3,28 \pm 0,008$
Chlorid	$22,1 \pm 0,038$
Nitrit	$1,10 \pm 0,005$
Sulfat	$61,0 \pm 0,099$
Nitrat	$2,98 \pm 0,007$
Bromid	$10,2 \pm 0,004$
Phosphat	$7,38 \pm 0,049$

n.n. = nicht nachweisbar; n.b. = nicht bestimmbar,
(relative Standardabweichung >50 %)

Spurenelemente		
[mg/kg]		
Ag	328,068 nm	n.n.
Al	396,152 nm	$79,5 \pm 0,232$
As	189,042 nm	n.n.
B	249,773 nm	$44,1 \pm 0,580$
Ba	455,403 nm	$0,287 \pm 0,011$
Be	234,861 nm	n.n.
Bi	223,061 nm	n.n.
Ca	422,673 nm	$19757,5 \pm 89,00$
Cd	214,438 nm	$0,092 \pm 0,003$
Co	228,616 nm	n.n.
Cr	267,716 nm	$0,819 \pm 0,049$
Cu	324,754 nm	$0,134 \pm 0,048$
Fe	259,940 nm	$79,1 \pm 1,339$
K	766,490 nm	$63227,0 \pm 774,8$
Li	670,784 nm	$1,11 \pm 0,130$
Mg	280,270 nm	$3511,6 \pm 10,23$
Mn	293,930 nm	$39,4 \pm 0,542$
Mo	202,030 nm	n.n.
Na	589,592 nm	$7893,7 \pm 86,07$
Ni	231,604 nm	$0,723 \pm 0,019$
P	177,495 nm	$792,4 \pm 1,451$
Pb	220,353 nm	$2,26 \pm 0,173$
S	182,034 nm	$20731,8 \pm 62,13$
Sb	217,581 nm	n.n.
Se	203,985 nm	n.n.
Sr	407,771 nm	$11,2 \pm 0,028$
Ti	337,280 nm	$1,15 \pm 0,056$
Tl	190,856 nm	n.n.
V	292,464 nm	$2,13 \pm 0,024$
W	239,709 nm	n.n.
Zn	206,200 nm	$14,0 \pm 0,266$

57. Selenhefe

Allgemeine Daten		
Trockenmasse	[%]	95,4
Gesamtstickstoff (TN)	[%]	5,81 ± 0,01
Aminostickstoff (AN)	[%]	1,49 ± 0,05
Hydrolysegrad (AN/TN)	[%]	25,7 ± 0,89
Aschegehalt	[%]	21,7

Aminosäuren	frei	gesamt
[g/100 g]		
Alanin	0,47 ± 0,009	1,55 ± 0,029
Asparagin	0,05 ± 0,003	n.n.
Asparaginsäure	1,80 ± 0,054	3,91 ± 0,146
Cystathionin	n.n.	n.n.
Glutaminsäure	0,89 ± 0,029	7,11 ± 0,276
Glycin	0,04 ± 0,006	1,10 ± 0,021
Histidin	0,35 ± 0,005	1,19 ± 0,029
Isoleucin	n.n.	0,64 ± 0,015
Leucin	0,11 ± 0,003	1,41 ± 0,018
Lysin	0,29 ± 0,003	2,32 ± 0,066
Methionin	0,08 ± 0,003	0,27 ± 0,007
Phenylalanin	0,07 ± 0,001	0,89 ± 0,012
Prolin	0,08 ± 0,004	1,16 ± 0,002
Serin	0,13 ± 0,006	1,75 ± 0,063
Threonin	0,02 ± 3·10 ⁻⁵	1,54 ± 0,046
Tryptophan	n.n.	n.n.
Tyrosin	0,16 ± 0,004	0,78 ± 0,008
Valin	0,23 ± 0,002	1,38 ± 0,025

Fettsäuren	
[mg/g]	
Methyldecanoat (C10:0)	1,33 ± 0,029
Methylstearat (C18:0)	0,590 ± 0,267
Methyl-γ-Linolenat (C18:3n6)	0,161 ± 0,061

Kohlenhydrate	
[mg/g]	
Gesamtgehalt	322,6 ± 5,577
Reduzierende Zucker	83,3 ± 0,688

Kohlenhydrate	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Rhamnose	n.n.	n.n.
Arabinose	2,25	4,29 ± 0,0004
Galactose	0,83	0,66 ± 0,003
Glucose	15,6	n.n.
Saccharose	0,27	n.n.
Xylose	n.n.	n.n.
Mannose	12,1	90,4 ± 0,405
Fructose	1,90	3,62 ± 0,703

Hemmstoffe	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Formiat	1,60	7,85 ± 0,022
Acetat	2,06	3,35 ± 0,031
Lävulinsäure	n.n.	6,12 ± 0,241
Hydroxymethylfurfural	0,24	3,59 ± 0,025
Furfural	1,16	1,82 ± 0,025

Gesamtpolyphenole	
[mg/g]	
nach MEBAK	0,968 ± 0,040
nach Folin-Ciocalteu	11,8 ± 0,580
Flavonoide	1,24 ± 0,009

Lösliche Salze	
[mg/g]	
Natrium	9,56 ± 0,006
Ammonium	1,59 ± 0,217
Kalium	33,9 ± 0,004
Magnesium	1,82 ± 0,001
Calcium	24,1 ± 9,135
Fluorid	6,58 ± 0,000
Chlorid	4,39 ± 0,023
Nitrit	1,26 ± 0,001
Sulfat	89,8 ± 0,024
Nitrat	n.n.
Bromid	5,27 ± 0,012
Phosphat	7,84 ± 0,030

n.n. = nicht nachweisbar; n.b. = nicht bestimmbar,
(relative Standardabweichung >50 %)

Spurenelemente		
[mg/kg]		
Ag	328,068 nm	n.n.
Al	396,152 nm	7,14 ± 0,115
As	189,042 nm	0,372 ± 0,052
B	249,773 nm	17,5 ± 0,053
Ba	455,403 nm	0,125 ± 0,007
Be	234,861 nm	n.n.
Bi	223,061 nm	n.n.
Ca	422,673 nm	30359,6 ± 178,5
Cd	214,438 nm	n.n.
Co	228,616 nm	2,26 ± 0,027
Cr	267,716 nm	0,539 ± 0,005
Cu	324,754 nm	0,225 ± 0,008
Fe	259,940 nm	8,74 ± 0,007
K	766,490 nm	33590,2 ± 233,1
Li	670,784 nm	1,44 ± 0,028
Mg	280,270 nm	2497,7 ± 23,11
Mn	293,930 nm	2,81 ± 0,001
Mo	202,030 nm	n.n.
Na	589,592 nm	10495,1 ± 85,21
Ni	231,604 nm	1,41 ± 0,028
P	177,495 nm	4899,6 ± 29,89
Pb	220,353 nm	n.n.
S	182,034 nm	34981,5 ± 331,8
Sb	217,581 nm	n.n.
Se	203,985 nm	678,5 ± 8,562
Sr	407,771 nm	11,9 ± 0,263
Ti	337,280 nm	0,438 ± 0,012
Tl	190,856 nm	n.n.
V	292,464 nm	0,594 ± 0,016
W	239,709 nm	n.n.
Zn	206,200 nm	88,6 ± 0,858

58. Sojaprotein

Allgemeine Daten		
Trockenmasse	[%]	93,7
Gesamtstickstoff (TN)	[%]	5,90 ± 0,14
Aminostickstoff (AN)	[%]	1,33 ± 0,03
Hydrolysegrad (AN/TN)	[%]	22,5 ± 0,07
Aschegehalt	[%]	21,9

Aminosäuren	frei	gesamt
[g/100 g]		
Alanin	n.n.	1,01 ± 0,034
Asparagin	n.n.	n.n.
Asparaginsäure	1,60 ± 0,052	4,85 ± 0,145
Cystathionin	n.n.	n.n.
Glutaminsäure	0,10 ± 0,008	7,43 ± 0,327
Glycin	n.n.	1,21 ± 0,042
Histidin	0,35 ± 0,004	1,44 ± 0,043
Isoleucin	n.n.	0,58 ± 0,013
Leucin	0,06 ± 0,005	1,51 ± 0,009
Lysin	0,22 ± 0,005	2,20 ± 0,004
Methionin	0,08 ± 0,002	0,25 ± 0,005
Phenylalanin	0,06 ± 0,001	1,02 ± 0,045
Prolin	0,05 ± 0,003	2,19 ± 0,037
Serin	0,06 ± 0,007	1,63 ± 0,052
Threonin	n.n.	1,32 ± 0,039
Tryptophan	n.n.	n.n.
Tyrosin	0,14 ± 0,006	0,79 ± 0,027
Valin	n.n.	0,99 ± 0,018

Fettsäuren	
[mg/g]	
Methyldecanoat (C10:0)	n.n.
Methyltridecanoat (C13:0)	0,073 ± 0,014
Methylstearat (C18:0)	0,614 ± 0,133

Kohlenhydrate	
[mg/g]	
Gesamtgehalt	230,5 ± 2,075
Reduzierende Zucker	250,5 ± 1,376

Kohlenhydrate	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Rhamnose	n.n.	4,77 ± 0,128
Arabinose	44,6	40,5 ± 0,172
Galactose	16,9	99,3 ± 0,912
Glucose	20,6	52,6 ± 0,772
Saccharose	n.n.	n.n.
Xylose	n.n.	8,59 ± 0,139
Mannose	n.n.	1,79 ± 0,030
Fructose	56,8	3,19 ± 0,305

Hemmstoffe	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Formiat	1,38	8,03 ± 0,056
Acetat	10,5	6,93 ± 0,059
Lävulinsäure	n.n.	12,8 ± 0,077
Hydroxymethylfurfural	1,56	3,79 ± 0,052
Furfural	0,58	7,37 ± 1,039

Gesamtpolyphenole	
[mg/g]	
nach MEBAK	0,648 ± 0,039
nach Folin-Ciocalteu	13,5 ± 0,414
Flavonoide	0,148 ± 0,003

Lösliche Salze	
[mg/g]	
Natrium	0,684 ± 0,004
Ammonium	5,95 ± 0,066
Kalium	38,8 ± 0,200
Magnesium	5,94 ± 0,032
Calcium	29,7 ± 0,187
Fluorid	2,51 ± 0,007
Chlorid	1,04 ± 0,002
Nitrit	1,06 ± 0,001
Sulfat	104,5 ± 0,370
Nitrat	n.n.
Bromid	2,08 ± 0,000
Phosphat	8,12 ± 0,028

n.n. = nicht nachweisbar; n.b. = nicht bestimmbar,
(relative Standardabweichung >50 %)

Spurenelemente		
[mg/kg]		
Ag	328,068 nm	n.n.
Al	396,152 nm	83,0 ± 0,138
As	189,042 nm	n.n.
B	249,773 nm	48,9 ± 0,060
Ba	455,403 nm	0,370 ± 0,036
Be	234,861 nm	n.n.
Bi	223,061 nm	n.n.
Ca	422,673 nm	32226,1 ± 270,0
Cd	214,438 nm	n.n.
Co	228,616 nm	0,098 ± 0,001
Cr	267,716 nm	1,50 ± 0,053
Cu	324,754 nm	3,36 ± 0,089
Fe	259,940 nm	52,5 ± 0,605
K	766,490 nm	40385,9 ± 456,6
Li	670,784 nm	0,477 ± 0,083
Mg	280,270 nm	8232,7 ± 65,79
Mn	293,930 nm	23,6 ± 0,149
Mo	202,030 nm	1,60 ± 0,037
Na	589,592 nm	341,7 ± 27,39
Ni	231,604 nm	4,12 ± 0,053
P	177,495 nm	3102,7 ± 18,53
Pb	220,353 nm	0,162 ± 0,003
S	182,034 nm	37270,3 ± 272,4
Sb	217,581 nm	n.n.
Se	203,985 nm	n.n.
Sr	407,771 nm	26,9 ± 0,338
Ti	337,280 nm	0,472 ± 0,164
Tl	190,856 nm	n.n.
V	292,464 nm	3,47 ± 0,021
W	239,709 nm	n.n.
Zn	206,200 nm	15,9 ± 0,059

59. Sojaproteinkonzentrat

Allgemeine Daten		
Trockenmasse	[%]	93,4
Gesamtstickstoff (TN)	[%]	7,25 ± 0,05
Aminostickstoff (AN)	[%]	1,87 ± 0,02
Hydrolysegrad (AN/TN)	[%]	25,7 ± 0,06
Aschegehalt	[%]	26,8

Aminosäuren	frei	gesamt
[g/100 g]		
Alanin	0,06 ± 0,005	1,20 ± 0,043
Asparagin	n.n.	n.n.
Asparaginsäure	2,33 ± 0,112	5,03 ± 0,076
Cystathionin	n.n.	n.n.
Glutaminsäure	0,30 ± 0,025	6,16 ± 0,899
Glycin	0,07 ± 0,001	1,33 ± 0,043
Histidin	0,36 ± 0,010	1,51 ± 0,014
Isoleucin	n.n.	0,86 ± 0,036
Leucin	0,08 ± 0,003	2,05 ± 0,073
Lysin	0,30 ± 0,013	2,14 ± 0,287
Methionin	0,08 ± 0,001	0,35 ± 0,015
Phenylalanin	0,09 ± 0,004	1,33 ± 0,036
Prolin	0,11 ± 0,002	2,39 ± 0,088
Serin	0,08 ± 0,0002	2,31 ± 0,020
Threonin	n.n.	1,64 ± 0,027
Tryptophan	n.n.	n.n.
Tyrosin	0,19 ± 0,006	1,14 ± 0,020
Valin	n.n.	1,23 ± 0,005

Fettsäuren	
[mg/g]	
Methyldecanoat (C10:0)	0,263 ± 0,008
Methylstearat (C18:0)	1,15 ± 0,023

Kohlenhydrate	
[mg/g]	
Gesamtgehalt	117,4 ± 1,355
Reduzierende Zucker	190,4 ± 1,032

Kohlenhydrate	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Rhamnose	n.n.	2,78 ± 0,163
Arabinose	30,0	23,0 ± 0,010
Galactose	n.n.	70,2 ± 0,124
Glucose	10,1	22,3 ± 0,146
Saccharose	n.n.	n.n.
Xylose	7,01	2,26 ± 0,011
Mannose	3,01	6,13 ± 0,047
Fructose	11,6	n.n.

Hemmstoffe	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Formiat	25,4	6,84 ± 0,129
Acetat	10,6	7,05 ± 0,007
Lävulinsäure	0,21	3,14 ± 0,004
Hydroxymethylfurfural	1,16	2,17 ± 0,033
Furfural	0,81	5,36 ± 0,069

Gesamtpolyphenole	
[mg/g]	
nach MEBAK	0,876 ± 0,069
nach Folin-Ciocalteu	18,1 ± 0,246
Flavonoide	0,051 ± 0,002

Lösliche Salze	
[mg/g]	
Natrium	0,460 ± 0,015
Ammonium	9,08 ± 0,012
Kalium	35,7 ± 0,018
Magnesium	5,53 ± 0,071
Calcium	46,0 ± 0,286
Fluorid	3,05 ± 0,017
Chlorid	1,17 ± 0,012
Nitrit	1,10 ± 0,007
Sulfat	133,0 ± 0,056
Nitrat	2,94 ± 0,005
Bromid	2,08 ± 0,003
Phosphat	7,18 ± 0,005

n.n. = nicht nachweisbar; n.b. = nicht bestimmbar,
(relative Standardabweichung >50 %)

Spurenelemente		
[mg/kg]		
Ag	328,068 nm	n.n.
Al	396,152 nm	108,1 ± 4,173
As	189,042 nm	n.n.
B	249,773 nm	40,6 ± 0,648
Ba	455,403 nm	0,660 ± 0,013
Be	234,861 nm	n.n.
Bi	223,061 nm	n.n.
Ca	422,673 nm	48467,7 ± 206,2
Cd	214,438 nm	n.n.
Co	228,616 nm	0,128 ± 0,002
Cr	267,716 nm	3,15 ± 0,012
Cu	324,754 nm	10,5 ± 0,163
Fe	259,940 nm	56,1 ± 0,508
K	766,490 nm	38554,0 ± 118,2
Li	670,784 nm	1,19 ± 0,146
Mg	280,270 nm	8121,5 ± 34,73
Mn	293,930 nm	19,6 ± 0,198
Mo	202,030 nm	1,54 ± 0,001
Na	589,592 nm	194,3 ± 4,785
Ni	231,604 nm	3,08 ± 0,019
P	177,495 nm	1993,4 ± 18,43
Pb	220,353 nm	n.n.
S	182,034 nm	46747,7 ± 276,4
Sb	217,581 nm	n.n.
Se	203,985 nm	n.n.
Sr	407,771 nm	27,5 ± 0,968
Ti	337,280 nm	0,661 ± 0,080
Tl	190,856 nm	n.n.
V	292,464 nm	2,88 ± 0,067
W	239,709 nm	n.n.
Zn	206,200 nm	14,5 ± 0,171

60. Sonnenblumenextraktionsschrot

Allgemeine Daten		
Trockenmasse	[%]	88,4
Gesamtstickstoff (TN)	[%]	4,96 ± 0,03
Aminostickstoff (AN)	[%]	0,79 ± 0,03
Hydrolysegrad (AN/TN)	[%]	16,0 ± 0,46
Aschegehalt	[%]	25,9

Aminosäuren	frei	gesamt
[g/100 g]		
Alanin	n.n.	0,83 ± 0,009
Asparagin	n.n.	n.n.
Asparaginsäure	0,62 ± 0,026	2,67 ± 0,033
Cystathionin	n.n.	n.n.
Glutaminsäure	0,02 ± 0,007	4,40 ± 0,053
Glycin	n.n.	2,07 ± 0,012
Histidin	n.n.	1,02 ± 0,033
Isoleucin	n.n.	0,50 ± 0,001
Leucin	0,05 ± 0,001	1,01 ± 0,004
Lysin	0,21 ± 0,006	0,88 ± 0,073
Methionin	0,08 ± 0,002	0,32 ± 0,007
Phenylalanin	0,05 ± 0,001	0,78 ± 0,013
Prolin	0,05 ± 0,006	1,26 ± 0,008
Serin	0,05 ± 0,003	1,29 ± 0,031
Threonin	n.n.	0,99 ± 0,030
Tryptophan	n.n.	n.n.
Tyrosin	0,11 ± 0,004	0,49 ± 0,035
Valin	n.n.	0,95 ± 0,007

Fettsäuren	
[mg/g]	
Methylcapronat (C6:0)	0,241 ± 0,011
Methyldecanoat (C10:0)	0,074 ± 0,016
Methylstearat (C18:0)	0,223 ± 0,016

Kohlenhydrate	
[mg/g]	
Gesamtgehalt	205,6 ± 1,766
Reduzierende Zucker	320,8 ± 2,579

Kohlenhydrate	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Rhamnose	n.n.	8,20 ± 0,025
Arabinose	75,9	53,5 ± 0,510
Galactose	19,2	36,1 ± 0,358
Glucose	28,8	55,4 ± 0,775
Saccharose	n.n.	n.n.
Xylose	7,55	14,5 ± 0,056
Mannose	1,07	4,69 ± 0,053
Fructose	57,1	n.n.

Hemmstoffe	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Formiat	4,73	16,4 ± 0,057
Acetat	22,4	23,2 ± 0,156
Lävulinsäure	0,25	25,7 ± 0,045
Hydroxymethylfurfural	1,31	5,64 ± 0,139
Furfural	0,26	15,5 ± 0,361

Gesamtpolyphenole	
[mg/g]	
nach MEBAK	33,9 ± 0,816
nach Folin-Ciocalteu	24,1 ± 0,181
Flavonoide	0,148 ± 0,004

Lösliche Salze	
[mg/g]	
Natrium	0,765 ± 0,002
Ammonium	2,63 ± 0,003
Kalium	41,2 ± 0,040
Magnesium	16,0 ± 0,074
Calcium	23,4 ± 0,346
Fluorid	4,39 ± 0,017
Chlorid	2,40 ± 0,016
Nitrit	n.n.
Sulfat	130,7 ± 0,137
Nitrat	n.n.
Bromid	2,12 ± 0,001
Phosphat	7,36 ± 0,097

n.n. = nicht nachweisbar; n.b. = nicht bestimmbar,
(relative Standardabweichung >50 %)

Spurenelemente		
[mg/kg]		
Ag	328,068 nm	n.n.
Al	396,152 nm	44,6 ± 0,414
As	189,042 nm	n.n.
B	249,773 nm	48,2 ± 0,251
Ba	455,403 nm	0,350 ± 0,003
Be	234,861 nm	n.n.
Bi	223,061 nm	n.n.
Ca	422,673 nm	27125,7 ± 178,9
Cd	214,438 nm	0,340 ± 0,002
Co	228,616 nm	0,222 ± 0,003
Cr	267,716 nm	1,33 ± 0,030
Cu	324,754 nm	23,7 ± 0,181
Fe	259,940 nm	28,6 ± 0,052
K	766,490 nm	43313,7 ± 232,7
Li	670,784 nm	1,16 ± 0,037
Mg	280,270 nm	18687,4 ± 123,1
Mn	293,930 nm	17,2 ± 0,071
Mo	202,030 nm	n.n.
Na	589,592 nm	391,8 ± 15,82
Ni	231,604 nm	12,7 ± 0,051
P	177,495 nm	2601,9 ± 5,202
Pb	220,353 nm	0,219 ± 0,029
S	182,034 nm	47452,0 ± 319,7
Sb	217,581 nm	n.n.
Se	203,985 nm	n.n.
Sr	407,771 nm	14,2 ± 0,130
Ti	337,280 nm	0,776 ± 0,038
Tl	190,856 nm	n.n.
V	292,464 nm	4,17 ± 0,109
W	239,709 nm	n.n.
Zn	206,200 nm	22,1 ± 0,065

61. Weizenkleber

Allgemeine Daten		
Trockenmasse	[%]	91,4
Gesamtstickstoff (TN)	[%]	11,3 ± 0,05
Aminostickstoff (AN)	[%]	2,68 ± 0,01
Hydrolysegrad (AN/TN)	[%]	23,7 ± 0,04
Aschegehalt	[%]	7,7

Aminosäuren	frei	gesamt
[g/100 g]		
Alanin	n.n.	1,45 ± 0,033
Asparagin	n.n.	0,18 ± 0,022
Asparaginsäure	1,03 ± 0,033	2,52 ± 0,031
Cystathionin	n.n.	n.n.
Glutaminsäure	0,18 ± 0,027	16,3 ± 0,638
Glycin	0,08 ± 0,008	2,45 ± 0,071
Histidin	0,34 ± 0,004	1,92 ± 0,031
Isoleucin	n.n.	1,51 ± 0,027
Leucin	0,07 ± 0,001	3,84 ± 0,120
Lysin	0,19 ± 0,004	1,29 ± 0,015
Methionin	0,08 ± 0,003	0,71 ± 0,033
Phenylalanin	0,07 ± 0,002	2,86 ± 0,137
Prolin	0,15 ± 0,006	8,86 ± 0,311
Serin	0,07 ± 0,017	3,63 ± 0,053
Threonin	n.n.	1,86 ± 0,010
Tryptophan	0,28 ± 0,001	n.n.
Tyrosin	0,12 ± 0,004	2,04 ± 0,102
Valin	n.n.	2,33 ± 0,024

Fettsäuren	
[mg/g]	
Methyldecanoat (C10:0)	0,042 ± 0,003
Methylpalmitat (C16:0)	0,386 ± 0,160
Methylstearat (C18:0)	0,955 ± 0,026
Methyllinolelaidat (C18:2n6tr.)	5,34 ± 0,100

Kohlenhydrate	
[mg/g]	
Gesamtgehalt	185,7 ± 1,454
Reduzierende Zucker	192,3 ± 1,720

Kohlenhydrate	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Rhamnose	n.n.	n.n.
Arabinose	5,49	6,11 ± 0,038
Galactose	4,33	2,91 ± 0,007
Glucose	n.n.	74,6 ± 0,618
Saccharose	n.n.	n.n.
Xylose	2,01	n.n.
Mannose	2,08	0,14 ± 0,028
Fructose	12,68	3,61 ± 0,022

Hemmstoffe	frei	Aufschluss
[mg/g]		nach NREL
Formiat	2,28	5,45 ± 0,016
Acetat	2,95	1,21 ± 0,008
Lävulinsäure	0,49	7,10 ± 0,098
Hydroxymethylfurfural	1,43	3,58 ± 0,090
Furfural	0,41	0,77 ± 0,129

Gesamtpolyphenole	
[mg/g]	
nach MEBAK	1,40 ± 0,040
nach Folin-Ciocalteu	20,0 ± 0,109
Flavonoide	0,179 ± 0,004

Lösliche Salze	
[mg/g]	
Natrium	1,08 ± 0,021
Ammonium	37,5 ± 0,073
Kalium	3,36 ± 0,057
Magnesium	0,694 ± 0,033
Calcium	15,0 ± 0,162
Fluorid	2,14 ± 0,155
Chlorid	1,25 ± 0,062
Nitrit	1,05 ± 0,005
Sulfat	79,4 ± 1,400
Nitrat	2,93 ± 0,007
Bromid	2,08 ± 0,000
Phosphat	7,82 ± 0,048

n.n. = nicht nachweisbar; n.b. = nicht bestimmbar,
(relative Standardabweichung >50 %)

Spurenelemente		
[mg/kg]		
Ag	328,068 nm	n.n.
Al	396,152 nm	8,38 ± 0,266
As	189,042 nm	n.n.
B	249,773 nm	1,51 ± 0,006
Ba	455,403 nm	1,53 ± 0,020
Be	234,861 nm	n.n.
Bi	223,061 nm	n.n.
Ca	422,673 nm	18923,1 ± 12,78
Cd	214,438 nm	0,167 ± 0,003
Co	228,616 nm	n.n.
Cr	267,716 nm	0,432 ± 0,009
Cu	324,754 nm	2,23 ± 0,001
Fe	259,940 nm	34,1 ± 0,324
K	766,490 nm	3134,4 ± 20,36
Li	670,784 nm	0,345 ± 0,033
Mg	280,270 nm	1594,5 ± 6,292
Mn	293,930 nm	24,9 ± 0,278
Mo	202,030 nm	0,721 ± 0,004
Na	589,592 nm	809,0 ± 16,90
Ni	231,604 nm	0,302 ± 0,018
P	177,495 nm	1734,0 ± 1,732
Pb	220,353 nm	n.n.
S	182,034 nm	31485,6 ± 13,54
Sb	217,581 nm	n.n.
Se	203,985 nm	n.n.
Sr	407,771 nm	8,25 ± 0,074
Ti	337,280 nm	0,728 ± 0,050
Tl	190,856 nm	n.n.
V	292,464 nm	1,04 ± 0,019
W	239,709 nm	n.n.
Zn	206,200 nm	61,8 ± 0,676

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Klaus-Dieter Vorlop für die Bereitstellung des interessanten Themas, das mir entgegengebrachte Vertrauen und die Unterstützung in vielerlei Hinsicht. Aus den anregenden Diskussionen entstanden viele neue Ideen, die zum Erfolg dieser Arbeit maßgeblich beigetragen haben.

Bedanken möchte ich mich auch bei Herrn Prof. Dr. Uwe Schröder für die Übernahme des Koreferats und bei Herrn Prof. Dr. Udo Rau für die Übernahme des Vorsitzes in der Prüfungskommission.

Frau Dr. Anja Kuenz und Herrn PD Dr. Ulf Prüße möchte ich für ihr offenes Ohr, die enge und effektive Zusammenarbeit und die vielen Diskussionen und Anregungen danken.

Desweiteren gilt mein herzlicher Dank den Mitarbeitern im Institut für Agrartechnologie des Thünen-Instituts Braunschweig für die gute Zusammenarbeit, das herzliche Arbeitsklima und die vielen kleinen Hilfestellungen im Alltag. Darunter danke ich im Einzelnen: Frank Brandes, Martina Heine, Marina Heuer, Dr. Antje Hevekerl, Heike Horn, Malee Kallbach, Norman Kaufmann, Susan Krull, Dr. Henning Kuhz, Linda Teevs und Eric Weingart.

Insbesondere möchte ich mich bei Frau Elena Geisler für ihre tatkräftige Unterstützung und bei Herrn Dennis Jäger für die Hilfestellung bei analytischen Fragen und Problemen bedanken.

Der Fachagentur nachwachsende Rohstoffe e.V. und der Südzucker AG danke ich für die finanzielle Unterstützung des Projekts.

Mein besonderer Dank gilt meiner Familie, die mir diesen Weg ermöglicht hat und insbesondere Dr. Nelson Lloyd Brock für die jahrelange Unterstützung, die Motivation und die unendliche Geduld.